

**LAPORAN HASIL PENELITIAN
HIBAH BERSAING PERGURUAN TINGGI
TAHUN ANGGARAN 2011**



**PENENTUAN LAJU PEREMBESAN AIR DALAM MEDIA BERPORI
MENGUNAKAN METODA GEOLISTRIK
DAERAH RESAPAN AIR KAMPUS UNHAS TAMALANREA
MAKASSAR**

Oleh:

**Dr. Muhammad Hamzah Syahrudin, S.Si., M.T. (Ketua)
Drs. Lantu, M.Eng.Sc, DESS (Anggota)
Syamsuddin, S.Si., M.T. (Anggota)**

**Dibiayai oleh DIPA Universitas Hasanuddin
Tahun 2011 sesuai dengan surat perjanjian
Pelaksanaan Penelitian No.424A/H4-
20/PM.05/2011 tgl. 28 Maret 2011**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
SEPTEMBER, 2011**

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN HIBAH BERSAING PERGURUAN
TINGGI TAHUN ANGGARAN 2011

1. Judul Penelitian : Penentuan Laju Perembesan Air Dalam Media Berpori Menggunakan Metoda Geolistrik Daerah Resapan Air Kampus Unhas Tamalanrea Makassar
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dr. Muhammad Hamzah S., S.Si., M.T.
 - b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
 - c. NIP : 196912311997021002
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Jabatan Fungsional : Lektor
 - f. Fakultas/Jurusan : FMIPA/FISIKA
 - g. Pusat Penelitian : UNHAS
 - h. Alamat : Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar
 - i. Telepon/Faks : (0411) 587634
 - j. Alamat Rumah : Bukit Baruga , Jl. Kutacane VI No 7 Antang Makassar
 - k. Telepon/Faks/E-mail : (0411) 4880857 / hamzah@fmipa.unhas.ac.id
3. Jumlah Peneliti : 3(tiga orang)
- Nama anggota 1 : Drs. Lantu, M.Eng.Sc, DESS
 - Nama anggota 2 : Syamsuddin, S.Si., M.T.
4. Jangka Waktu Penelitian : 2 tahun
- Laporan ini adalah laporan tahun ke 2.
5. Pembiayaan : Rp. 49.625.000,- (empatpuluh sembilan juta enamratus duapuluhlimaribu rupiah)

Mengetahui,
Dekan

Makassar, 18 November 2011
Ketua Peneliti

(Prof. Dr. H. A. Wahid Wahab, M.Sc.) (Dr. Muhammad Hamzah S. S.Si., MT.)
NIP. 194908271976021001 NIP. 196912311997021002

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian

(Prof. Dr. H. Hafied Cangara, M.Sc)
NIP. 195204121976031017

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya jualah sehingga laporan akhir penelitian ini dengan judul “Penentuan Laju Perembesan Air Dalam Media Berpori Menggunakan Metoda Geolistrik Daerah Resapan Air Kampus Unhas Tamalanrea Makassar” dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Dalam kesempatan yang sangat berharga ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini. Ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Ketua dan Staf Lembaga Penelitian UNHAS, Pimpina dan jajarannya Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNHAS, dan para anggota Tim Peneliti atas kerjasamanya dalam penelitian ini. Ucapan terimakasih dan penghargaan yang tinggi disampaikan kepada para juri penelitian Prof. Dr. H. Halmar Halide, M.Sc dan Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc. atas saran-saran dan koreksinya dalam perbaikan laporan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan ini, baik dari segi materi pembahasan dan teknik penyajiannya. Olehnya itu, kritik dan saran yang bersifat konstruktif demi penyempurnaan laporan ini, penulis sangat harapkan dari berbagai pihak.

Semoga laporan ini dapat memberikan sumbangan informasi yang bermanfaat dalam mengembangkan sains dan teknologi di Negara Republik Indonesia yang kita cintai bersama.

Makassar, 18 November 2011

Wassalam

Penulis

**PENENTUAN LAJU PEREMBESAN AIR DALAM MEDIA BERPORI
MENGUNAKAN METODA GEOLISTRIK
DAERAH RESAPAN AIR KAMPUS UNHAS TAMALANREA
MAKASSAR**

Substansi Penelitian

ABSTRAK

Laju peresapan atau perembesan air ke dalam tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar ditentukan oleh nilai permeabilitas atau nilai yang menyatakan kemampuan tanah untuk dirembesi air. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah menentukan sebaran nilai permeabilitas di Kampus UNHAS Tamalanrea. Metoda yang digunakan untuk menentukan sebaran nilai permeabilitas di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar adalah metoda geolistrik *Self-potential* (SP). Sebaran nilai permeabilitas yang diperoleh menggunakan metoda geolistrik SP di Kampus UNHAS Tamalanrea terdiri dari tiga macam nilai permeabilitas yaitu nilai permeabilitas rendah, nilai permeabilitas sedang, dan nilai permeabilitas tinggi. Nilai permeabilitas rendah 0,15 sampai 1 Darcy, nilai permeabilitas sedang 1 sampai 4 Darcy, dan nilai permeabilitas yang tinggi adalah 4 sampai 18 Darcy. Nilai permeabilitas tersebut menunjukkan bahwa nilai permeabilitas di Kampus UNHAS Tamalanrea 'kurang baik' atau lebih bersifat semipermeabel. Karena itu, perlu dibuat sumur resapan di Kampus UNHAS Tamalanrea untuk melestarikan airtanah di daerah tersebut. Nilai permeabilitas rendah dan sedang potensial dikembangkan sebagai lokasi sumur peresapan yang dalam, sedangkan permeabilitas yang tinggi potensial dikembangkan sebagai sumur resapan biopori atau sumur resapan yang dangkal. laju rata-rata perembesan air permukaan di kampus UNHAS Tamalanrea Makassar adalah 1,75 m/hari atau 624 meter/tahun.

Kata Kunci : *self-potential, nilai permeabilitas, sumur resapan, biopori*

**DETERMINATION WATER SEEPAGE VELOCITY IN POROUS MEDIA
USING GEOELECTRIC METHOD
INFILTRATION AREA KAMPUS UNHAS TAMALANREA MAKASSAR**

substance Research

ABSTRACT

The rate of permeation of water into the soil at the Campus UNHAS, Makassar Tamalanrea determined by the value of permeability. Thus, the purpose of this study was to determine the distribution of permeability values in the Campus UNHAS Tamalanrea. The method used to determine the distribution of permeability values is a method of geoelectric self-potential (SP). Distribution of permeability values obtained using three kinds of low permeability values, the value of permeability medium, and high permeability values. Low permeability value of 0.15 to 1 Darcy, permeability values are 1 to 4 Darcy, and high permeability values are 4 to 18 Darcy. The permeability values indicate that the permeability values in the Campus UNHAS Tamalanrea 'less good' or more semipermeable. Therefore, injection wells need to be made at the Campus UNHAS Tamalanrea to conserve groundwater in the area. Value of low permeability and is being developed as a potential location of a injection deep wells, whereas the high permeability potential to be developed as well biopori or shallow wells. average rate of permeation of water surface on the campus of UNHAS Tamalanrea Makassar is 1.75 m / day or 624 meters / year.

Key word : *self-potential, permeability value, well injection, biopori*

DAFTAR ISI

Uraian	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PRAKATA	iii
SUBSTANSI PENELITIAN	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
Daftar Lambang dan Singkatan	x
 I. PENDAHULUAN	 1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	2
I.3 Keutamaan Penelitian	2
 II. STUDI PUSTAKA	 3
II.1 Karakter Tanah dan Aliran Fluida dalam Media Berpori	3
II.2 Metoda Geolistrik <i>Self-Potential (SP)</i>	7
II.2 .1 Potensial Elektrokinetik Sebagai sumber Anomali SP	9
II.3 .2 Persamaan Potensial Elektrokinetik	11
 III. METODE PENELITIAN	 14
III.1 Lokasi Penelitian dan Alat	14
III.2 Bagan Alir Penelitian	17
 IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	 19
IV.1 Topografi dan Arah Aliran Air Permukaan Kampus UNHAS Tamalanrea	19
VI.2 Nilai K dan Nilai C Sampel Tanah Kampus Unhas Tamalanrea	21
IV.3 Hasil Pengukuran SP	23
IV.4 Distribusi Nilai K dan Nilai C Kampus UNHAS Tamalanrea	25
IV.5 Distribusi Nilai Permeabilitas Kampus UNHAS Tamalanrea	30
IV.6 Analisis dan Interpretasi	32
 V. V. PENUTUP	 37
V.1 Kesimpulan	37
V.2 Rekomendasi	38
 DAFTAR PUSTAKA	 39
 LAMPIRAN A Hasil Pengukuran Lapangan	 41
LAMPIRAN B Publikasi Hasil Penelitian	45

DAFTAR TABEL

No.Tabel	Uraian	Halaman
Tabel II.1	Kisaran Harga K untuk beberapa Jenis Tanah	7
Tabel IV.1	Nilai K dan C Sampel Tanah Daerah Kampus Unhas Tamalanrea	23
Tabel IV.2	Nilai K dan SP pada Titik Pengambilan Sampel di Lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea	26
Tabel IV.3	Nilai C dan SP pada Titik Pengambilan Sampel di Lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea	28

DAFTAR GAMBAR

No.Gambar	Uraian	Halaman
Gambar II.1	Sketsa Alat percobaan Hukum Darcy	5
Gambar II.2	Sumber-sumber Potensial Alam	8
Gambar II.3	Potensial Elektrokinetik (PE) (Fagerlund & Heinson, 2003).	10
Gambar III.1	(a). Peta lokasi penelitian kampus UNHAS Tamalanrea dan sekitarnya beserta (b). Titik-titik pengukuran Topografi dan SP disetiap perpotogan garis sumbu vertikal dan horisontal sebanyak 121 titik pengukuran (Dimodifikasi dari peta kampus UNHAS Tamalanrea dari www.wikimapia.com)	15
Gambar III.2	Alat ukur topografi GPS dan alat ukur SP Sanwa PC500	16
Gambar III.3	Bagan Alir Penelitian	18
Gambar IV.1	Topografi Kampus UNHAS Tamalanrea. Data topografi diukur menggunakan GPSmap merek GRN 60 CSX	19
Gambar IV.2	Arah aliran air permukaan Kampus UNHAS Tamalanrea	20
Gambar IV.3	Sketsa Gambar tempat pengambilan sampel Tanah untuk Mengetahui Nilai Konduktivitas Hidrolik (K) Sampel Tanah di kampus UNHAS Tamalanrea Makassar (www. Unhas.ac.id)	21
Gambar IV.4	Grafik hubungan antara K dan C	22
Gambar IV.5	Sketsa Metode Pengukuran SP lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar	24
Gambar IV.6	Hasil pengukuran nilai SP Kampus UNHAS Tamalanrea	25
Gambar IV.7	Grafik antara SP dengan K dan rumus pendekatannya berupa eksponensial	27
Gambar IV.8	Kontur Distribusi nilai K Kampus UNHAS Tamalanrea	28
Gambar IV.9	Grafik antara SP dengan C dan rumus pendekatannya berupa eksponensial	29

Gambar V.10	Distribusi Nilai C Kampus UNHAS Tamalanrea	29
Gambar V.11	Nilai permeabilitas (Darcy) Kampus UNHAS Tamalanrea	31
Gambar V.12	Nilai permeabilitas intrinsik (cm^2) Kampus UNHAS Tamalanrea	32
Gambar V.13	Daerah yang potensial untuk dikembangkan sebagai sumur resapan yang dalam dengan permeabilitas yang rendah dan sedang 0,15 – 4 Darcy (warna merah) dan daerah yang potensial dikembangkan sebagai sumur resapan biopori dengan permeabilitas yang tinggi pada kisaran nilai permeabilitas 4 – 18 Darcy (warna hijau)	35
Gambar I.14	Laju rata-rata (cm/hari) perembesan air permukaan media berpori di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar	36

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan/Lambang	Arti	Pemakaian Pertama
SP	<i>Self-potential</i>	
PE	Potensial elektrokinetik	
K	Konduktivitas hidrolik (cm/det)	
k	Permeabilitas intrinsik, (m^2)	
C	Konstanta konduktivitas elektrohidrolik (mV/cm)	
EDL	<i>Electric double layer</i>	
c	Koefisien potensial elektrokinetik (mV/Pa)	
ζ	Potensial antara layer + and – (yaitu <i>solid and liquid phases</i>) (mV)	
$\epsilon_0 \epsilon_r$	Konstanta dielektrik (F/m)	
η	<i>Viscosity</i> dari fluida (mPa-s)	
σ_w	<i>Conductivity</i> dari fluida (mS/cm)	
∇P	Gradien perbedaan tekanan (Pa)	
∇V	Gradien potensial elektrokinetik (mV/cm)	
∇h	Gradien head hidrolik	
v	Laju aliran fluida (cm/s)	
Q	Debit aliran (cm^3/s)	
$h_1 - h_2 = \Delta h$	head hidrolik	
l	Ketebalan atau panjang pasir (cm)	
dh/dl	Gradien head hidrolik	
ρ	Densitas dari fluida (gr/cm^3)	
g	Konstanta gravitasi (cm/s^2).	
a	Spasi elektroda	

BAB I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemanasan global yang ditandai dengan meningkatnya suhu bumi dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca mengakibatkan dampak yang luas dan serius bagi lingkungan bio-geofisik seperti perubahan iklim, serta peningkatan hujan dan banjir. Setiap tahun banjir selalu terjadi di Indonesia. Bencana banjir di Indonesia mencapai puncaknya pada bulan Januari dan Februari. Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mengurangi bencana banjir adalah membuat sumur-resapan dan rekayasa biopori yang dapat menurunkan kuantitas dan laju limpasan air hujan di permukaan tanah. Lubang resapan biopori adalah metode resapan air dengan cara meningkatkan daya resap air pada tanah. Sumur resapan dan biopori selain dapat mengurangi bahaya banjir pada musim hujan diharapkan pula dapat menjaga kesinambungan ketersediaan sumber airtanah (*groundwater*) di musim kemarau. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui perlapisan tanah yang potensial sebagai lokasi sumur resapan air dan pengembangan biopori yang potensial menyimpan air tanah.

Metoda *self-potential* (*SP*) merupakan salah satu metoda eksplorasi sumber daya alam (*SDA*) yang digunakan dalam geofisika. Metoda *SP* yang juga dikenal dengan potensial alam adalah kelompok dari metoda geolistrik. Beberapa sumber daya alam yang telah berhasil dieksplorasi dengan metoda *SP* antara lain; geotermal, eksplorasi mineral, geokimia, *hydrobiological*, survei lingkungan dan lain-lain. Akhir-akhir ini metoda *SP* banyak dikembangkan dalam penelitian lingkungan dan geoteknik dalam mempelajari dinamika aliran fluida pada media berpori untuk mendeteksi perembesan melalui struktur bangunan penahan air dari tanah, mendeteksi kebocoran bendungan atau tanggul, dan mendeteksi sumber-sumber aliran dari suatu mata air.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa anomali *SP* terjadi karena adanya pergerakan air dalam media berpori adalah penelitian yang dilakukan oleh Nurhandoko dan Ahmad (2001), Vichabian dan Frank (2002), Perrier dan Froidefond (2003), Moore dkk. (2004), Grandis dan Yasser

(2004), dan Kim dkk. (2005). Fenomena tersebut akan dikaji lebih lanjut melalui penelitian ini, untuk mempelajari dan mengembangkan hubungan antara kecepatan aliran fluida dengan potensial elektrokinetik yang terjadi di bawah permukaan. Kajian selanjutnya adalah bagaimana hubungan antara potensial elektrokinetik yang terjadi dari aliran air melalui pori-pori tanah dengan anomali *SP* yang terukur di permukaan. Dengan demikian hubungan antara anomali *SP* yang terukur di permukaan dengan kecepatan aliran fluida dapat dikuantifikasi.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Melakukan analisis terhadap anomali *SP* di permukaan untuk mengetahui kecepatan perembesan air tanah di kawasan Kampus UNHAS Tamalanrea yang potensial menyerap air pada musim hujan.
2. Pemetaan kawasan Kampus UNHAS Tamalanrea sebagai lokasi yang potensial dikembangkan sebagai biopori dan lokasi yang potensial dikembangkan sebagai sumur resapan.

1.3 Keutamaan Penelitian

Penerapan metoda geofisika yaitu metoda geolistrik *self-potential* (*SP*) sebagai metoda geofisika yang baru untuk penentuan laju perembesan air dalam media berpori daerah resapan air kampus UNHAS Tamalanrea Makassar. Penerapan metoda geolistrik *SP* digunakan dalam menentukan sebaran konduktivitas hidrolik (*K*) dan sebaran konduktivitas elektrohidrolik (*C*) di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar. Dengan mengetahui sebaran *K* dan *C* di Kampus UNHAS Tamalanrea maka dapat diketahui daerah yang bersifat permeabel, semipermeabel, dan tidak permeabel (kedap). Selain itu, sebaran laju resapan air di Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dihitung. Jika distribusi *K*, *C*, dan laju resapan air di Kampus UNHAS Tamalanrea diketahui maka dapat ditentukan lokasi yang potensial dikembangkan sebagai sumur resapan yang dalam (sumur injeksi) dan lokasi yang potensial dikembangkan sebagai sumur biopori yang dangkal.

BAB II. STUDI PUSTAKA

II.1 Karakter Tanah dan Aliran Fluida dalam Media Berpori

Fluida dalam media berpori yang mengalir dalam tanah merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi manusia. Dalam siklus hidrologi, aliran fluida juga mempunyai peran sebagai salah satu mata rantai yang berfungsi dalam reservoir, yang kemudian mengalirkannya secara perlahan ke dalam sungai atau danau, sehingga kesinambungan aliran terjaga. Walaupun aliran fluida tawar hanya sekitar 0,62% dari semua air (termasuk air laut) di dunia (Foth, 1984), namun fungsinya bagi manusia dan tumbuhan sangat vital. Aliran fluida dalam media berpori mempunyai peran yang penting, karena mudah diperoleh dan kualitasnya relatif baik. Masyarakat dari negara yang kurang maju atau yang tinggal di daerah terpencil umumnya memanfaatkan sumber mata air untuk kehidupan sehari-hari. Masih banyak manusia yang mengandalkan aliran fluida dalam media berpori untuk pertanian dan industri. Oleh karena itu, pemetaan sumber aliran dan kualitas air dalam media pori menjadi penting dikerjakan dan dipelihara.

Secara umum tanah dapat didefinisikan sebagai suatu tubuh alam di permukaan bumi yang terjadi akibat bekerjanya gaya-gaya alami terhadap bahan alami (Wesley, 1977). Sedangkan Foth (1984) mendefinisikan tanah sebagai bahan mineral hasil evolusi yang dipengaruhi oleh faktor geologi dan faktor lingkungan, seperti batuan induk, iklim, makro- dan mikroorganisme, serta kondisi topografi. Tanah sangat beragam dalam hal komposisi maupun sifatnya. Tanah sebagai sistem tersusun oleh tiga komponen, yaitu: komponen padat, komponen cair, dan komponen gas. Hanya fase padat dan yang akan dibahas dalam tulisan bab ini, mengingat pentingnya keberadaan air dalam media pori sebagai bagian cair, dan interaksinya dengan pori-pori, sebagai bagian padat.

Sebagai obyek penelitian ini adalah tanah yang berada di kampus UNHAS Tamalanrea yang secara geografis berada di wilayah Kota Makassar. Secara umum jenis-jenis tanah yang ada di wilayah Kota Makassar terdiri dari tanah inceptisol dan tanah ultisol.([www. Makassarkota.go.id](http://www.Makassarkota.go.id)) Jenis tanah inceptisol

terdapat hampir di seluruh wilayah Kota Makassar, merupakan tanah yang tergolong sebagai tanah muda dengan tingkat perkembangan lemah yang dicirikan oleh horison penciri kambik. Tanah ini terbentuk dari berbagai macam bahan induk, yaitu aluvium (fluviatil dan marin), batu pasir, batu liat, dan batu gamping.

Penyebaran tanah ini terutama di daerah dataran antara perbukitan, tanggul sungai, rawa belakang sungai, dataran aluvial, sebagian dataran struktural berelief datar, landform struktural/ tektonik, dan dataran/ perbukitan vulkanik. Kadang-kadang berada pada kondisi tergenang untuk selang waktu yang cukup lama pada kedalaman 40 sampai 50 cm. Tanah Inceptisol memiliki horison cambic pada horison B yang dicirikan dengan adanya kandungan liat yang belum terbentuk dengan baik akibat proses basah kering dan proses penghanyutan pada lapisan tanah.

Jenis tanah ultisol merupakan tanah berwarna kemerahan yang banyak mengandung lapisan tanah liat dan bersifat asam. Warna tersebut terjadi akibat kandungan logam – terutama besi dan aluminium – yang teroksidasi (weathered soil). Umum terdapat di wilayah tropis pada hutan hujan, secara alamiah cocok untuk kultivasi atau penanaman hutan. Selain itu juga merupakan material yang stabil digunakan dalam konstruksi bangunan.

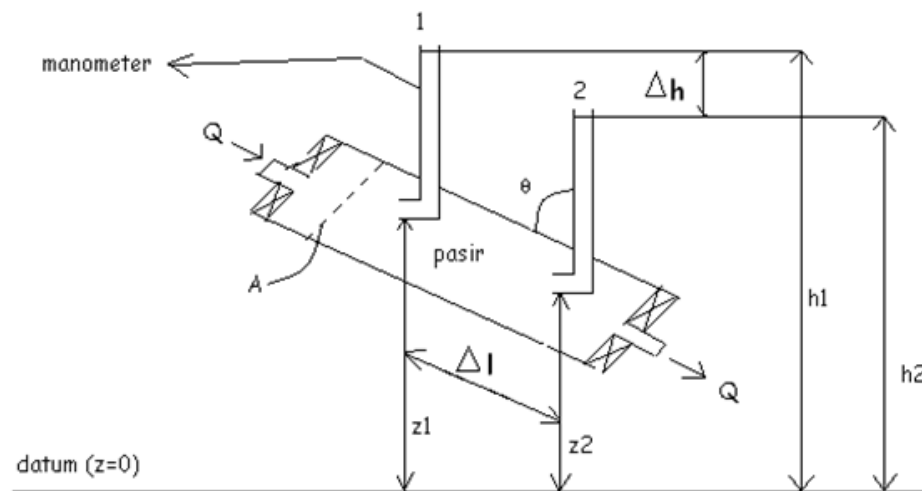
Tanah ultisol berkembang dari batuan sedimen masam (batupasir dan batuliat) dan sedikit dari batuan vulkano tua. Penyebaran utama terdapat pada landform tektonik/struktural dengan relief datar hingga berbukit dan bergunung. Tanah yang mempunyai horison argilik atau kandik dan memiliki kejenuhan basa sebesar kurang dari 35 persen pada ke dalaman 125 cm atau lebih di bawah batas atas horison argilik atau kandik. Tanah ini telah mengalami pelapukan lanjut dan terjadi translokasi liat pada bahan induk yang umumnya terdiri dari bahan kaya aluminium silika dengan iklim basah. Sifat-sifat utamanya men-cerminkan kondisi telah mengalami pencucian intensif, diantaranya miskin unsur hara N, P, dan K, sangat masam sampai masam, miskin bahan organik, lapisan bawah kaya aluminium (Al), dan peka terhadap erosi.

Parameter yang menentukan persebaran jenis tanah di wilayah Kota Makassar adalah jenis batuan, iklim, dan geomorfologi lokal, sehingga perkembangannya ditentukan oleh tingkat pelapukan batuan pada kawasan

tersebut. Kualitas tanah mempunyai pengaruh yang besar terhadap intensitas penggunaan lahannya. Tanah-tanah yang sudah berkembang horizonnya akan semakin intensif dipergunakan, terutama untuk kegiatan budidaya. Sedangkan kawasan-kawasan yang mempunyai perkembangan lapisan tanahnya masih tipis bisa dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya. Penentuan kualitas tanah dan penyebarannya ini akan sangat berarti dalam pengembangan wilayah di Makassar,

Hukum Darcy

Pada tahun 1856 Henry Darcy, seorang pakar hidrolis dari Perancis mempublikasikan hasil percobaannya di laboratorium tentang aliran air yang melalui pasir. Hasil analisa percobaan ini dapat dijadikan sebagai hukum empiris yang dikenal dengan nama hukum Darcy. Penemuan hukum Darcy sekaligus dapat dianggap sebagai kelahiran dari ilmu hidrologi aliran air tanah secara kuantitatif. Sketsa alat percobaan Henry Darcy dapat dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1: Sketsa Alat percobaan Hukum Darcy

Debit spesifik (*specific discharge*) q adalah debit aliran (Q) dibagi luas potongan melintang (A) dan mempunyai dimensi sama dengan kecepatan. Debit spesifik kadang-kadang dikenal sebagai kecepatan Darcy atau (*Darcy flux*) yang dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$q = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Konduktivitas hidrolik tanah merupakan sifat penting dalam kaitannya dengan mobilitas fluida dalam media berpori. Untuk mengetahui konsep konduktivitas hidrolik tersebut perlu diketahui suatu konsep aliran yang dirumuskan oleh Henry Darcy pada tahun 1856. Darcy dalam eksperimennya menemukan hubungan proporsional antara debit aliran air (Q) yang melalui pasir (homogen) dengan luas penampang aliran air (A) dan gradien head hidrolik (Bear dan Verrujit, 1990).

$$Q = -KA \left(\frac{h_2 - h_1}{l} \right). \quad (2)$$

Dimana, Q adalah volume air melalui satuan luasan dalam satuan waktu (L^3T^{-1}), $h_1 - h_2 = \Delta h$ merupakan perbedaan tinggi head hidrolik antara dua titik pada media pasir dengan beda jarak sepanjang l , K adalah faktor proporsional (LT^{-1}) yang dikenal dengan konduktivitas hidrolik, l adalah ketebalan atau panjang pasir (L).

Konstanta konduktivitas hidrolik K secara umum didefinisikan oleh Darcy sebagai sifat gabungan dari fluida dan medium berpori. Harga K bergantung pada kondisi atau sifat padatan (*solid matrix*) dan sifat dari cairannya dalam hal ini adalah air. Untuk sifat padatan bergantung pada diameter butir dan porositas efektif. Untuk cairannya, sifat yang mempengaruhi adalah kekentalan kinematisnya (η). Dengan demikian, generalisasi hubungan Darcy dapat ditulis kembali dalam persamaanh (3) sebagai berikut (Bear dan Verrujit, 1990),

$$v = K \left(\frac{dh}{dl} \right) = \frac{k \rho g}{\eta} \left(\frac{dh}{dl} \right). \quad (3)$$

Di mana k adalah permeabilitas intrinsik (L^2), K konduktivitas hidrolik (LT^{-1}), η adalah *viscosity* dari fluida ($ML^{-1}T^{-1}$), v sama dengan q adalah debit spesifik yang dimensinya sama dengan kecepatan (LT^{-1}), dh/dl gradien perubahan head hidrolik, ρ adalah densitas dari fluida (ML^{-3}), g adalah konstanta gravitasi (LT^{-2}).

Kisaran permeabilitas akifer menurut klasifikasi Chow, 1964 dalam Touloukian (1981), kisaran permeabilitas yang baik (*good aquifer*) adalah 10^5 -

10^0 darcy, permeabilitas kurang baik (*poor aquifer*) $10^0 - 10^{-4}$ darcy, dan permeabilitas yang dianggap kedap (*impermeable*) adalah nilai permeabilitas yang lebih kecil dari $10^{-4} \sim$ darcy. Nilai 1 Darcy ekuivalen dengan konduktivitas hidrolis $0,966 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ dan setara dengan permeabilitas intrinsik $0,987 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$. Kisaran harga K untuk beberapa jenis tanah dapat dilihat pada Tabel II.1.

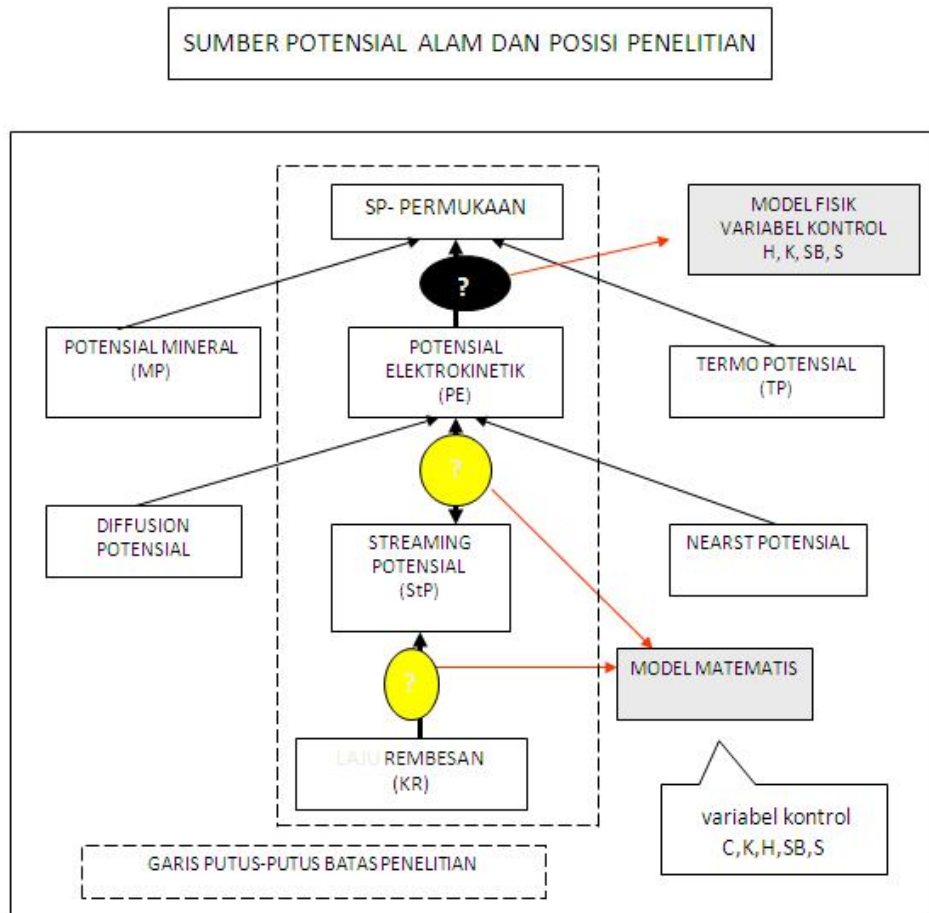
Tabel II.1 Kisaran Harga K untuk beberapa Jenis Tanah

Jenis tanah	K(m/hari)	K(cm/sec)	K(Darcy)
Liat permukaan	0,01-0,2	$1,15 \times 10^{-5} - 2,3 \times 10^{-4}$	$1,55 \times 10^{-2} - 2,38 \times 10^{-1}$
Liat bgn dalam	$10^{-8} - 10^{-2}$	$1,15 \times 10^{-10} - 1,15 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-7} - 1,19 \times 10^{-1}$
Lempung	0,1 - 1	$1,15 \times 10^{-4} - 1,15 \times 10^{-3}$	$1,19 \times 10^{-1} - 1,19$
Pasir halus	1 - 5	$1,15 \times 10^{-3} - 5,8 \times 10^{-3}$	1,19-6
Pasir sedang	5-20	$5,8 \times 10^{-3} - 2,3 \times 10^{-2}$	$6 - 2,38 \times 10^1$
Pasir kasar	20 - 100	$2,3 \times 10^{-2} - 1,15 \times 10^{-1}$	$2,38 \times 10^{-1} - 1,19 \times 10^2$
Kerikil (gravel)	100 - 1000	$1,15 \times 10^{-1} - 1,15$	$1,19 \times 10^2 - 1,19 \times 10^3$
Pasir berkerikil	5 - 100	$5,7 \times 10^{-3} - 0,0115$	$5,9 - 1,19 \times 10^1$
Liat+pasir+erikil	$10^{-3} - 0,1$	$1,15 \times 10^{-6} - 1,15 \times 10^{-4}$	$1,19 \times 10^{-3} - 1,19 \times 10^{-1}$

Modifikasi dari Bouwer (1978)

II.2 Metoda Geolistrik *Self-Potential* (SP)

Ada beberapa mekanisme yang dapat menghasilkan anomali *self-potential* (SP) yang dapat dilihat pada Gambar II.2. Pertama, adalah proses mekanis (potensial elektrokinetik), sedangkan tiga mekanisme yang lainnya adalah peristiwa kimiawi di alam. Ketiga mekanisme peristiwa kimiawi yaitu; potensial *liquid-junction*, potensial *shale* dan potensial mineralisasi (Telford dan Sheriff, 1982). Dalam penelitian ini, yang akan dilakukan adalah investigasi anomali potensial diri (SP) karena proses mekanis melalui aliran atau perembesan fluida air dalam medium berpori.



Gambar II.2. Sumber-sumber Potensial Alam

Potensial diri adalah variasi tegangan yang terukur di permukaan bumi sebagai akibat sumber listrik alami bawah permukaan. Penyebab potensial ini adalah reaksi kimia yang terjadi di dalam bumi dan berkaitan dengan adanya air tanah. Proses kimia ini akan menimbulkan; potensial *liquid-junction*, potensial shale (nernst) dan potensial mineralisasi. Hal lain yang cukup berpengaruh adalah proses mekanis yang menghasilkan komponen potensial elektrokinetik (Telford dan Sheriff, 1982).

Pada dasarnya potensial di alam disebabkan oleh aktifitas elektrokimia dan mekanis. Faktor pengontrol semua peristiwa tersebut adalah air tanah. Potensial tersebut berhubungan juga dengan pelapukan dari tubuh mineral, variasi sifat batuan (kandungan mineral), aktivitas biolistrik dari tanaman dan bahan organik, proses korosi, gradient panas, tekanan dan sebagainya (Telford dan Sheriff, 1982).

Gradien potensial adalah menghasilkan proses *electrofiltration*, dimana potensial alami meningkat secara positif dalam arah aliran. Teori ini telah terbukti oleh percobaan laboratorium di mana potensial elektrokinetik (PE) yang dihasilkan oleh aliran air melalui medium *porous* adalah linier atau sebanding lurus dengan kecepatan Darcian dengan gradien tekanan dan komposisi cairan (Bogoslovsky dan Ogilvy, 1972)

Nurhandoko dan Ahmad (2001), dalam studi SP untuk mengidentifikasi karakteristik aliran fluida telah memperlihatkan suatu fenomena yang menarik tentang SP. Dari hasil percobaan ditunjukkan bahwa SP berhubungan dengan kandungan elektrolit dan debit aliran fluida. Kandungan elektrolit yang lebih besar akan menimbulkan potensial diri lebih besar, dan debit aliran fluida yang lebih besar juga akan menimbulkan potensial diri yang lebih besar.

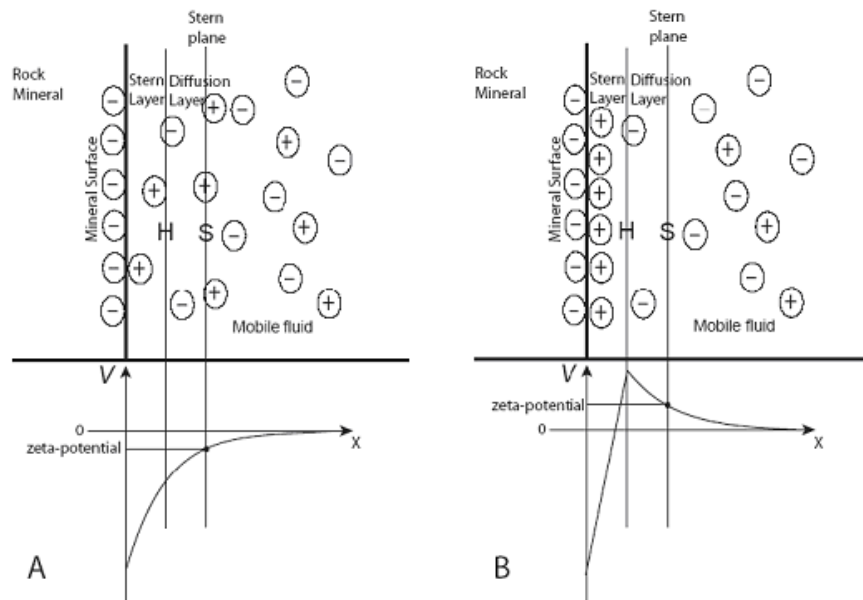
II.2.1 Potensial Elektrokinetik Sebagai Sumber Anomali SP

Salah satu sumber potensial secara alami adalah "*streaming potential*" (atau *electrokinetic potential*) yang muncul dari aliran fluida air (yaitu. *groundwater*) melalui medium porous. Oleh karena itu, Self-Potensial adalah digunakan dalam investigasi air tanah *groundwater* dan dalam aplikasi *geotechnical engineering* untuk studi perembesan air tanah. Penelitian lebih lanjut dari air tanah adalah analisis kuantitatif untuk menyediakan informasi yang diinginkan tentang debit dan arah lintasan aliran air tanah (*groundwater*).

Sel-potensial (SP) atau anomali streaming potensial dalam struktur tanah dapat disebabkan oleh aliran fluida air yang melewati pori-pori medium sehingga terjadi pertukaran ion antara fluida dan partikel-partikel tanah dalam struktur tersebut. Self-potensial bila dihubungkan dengan adanya perbedaan gradient tegangan (*piezometrik head*), konduktivitas fluida, viskositas fluida dan potensial elektrik diantara dua lapisan (*double layer between solid and liquid phases*), ini menghasilkan efek anomali streaming potensial atau potensial elektrokinetik (PE) yang relatif kecil. Oleh karena itu, diperlukan alat ukur SP yang mempunyai kepekaan yang tinggi dalam milli Volt (mV). Tegangan yang terukur

dipermukaan karena PE yang terjadi di bawah permukaan dapat menggambarkan keadaan pergerakan air bawah permukaan di tempat pengukuran.

Potensial elektrokinetik (PE) pada Gambar II.3, adalah model ”*electrical Double Layer*” (EDL). EDL itu adalah dibentuk dari fase antara sebuah padatan dan cairan yang ditentukan oleh sifat-sifat elektrokinetik dari bahan padat (*solid material*). Model teoritik EDL pertama kali dikemukakan oleh Helmholtz 1879 dimana lapisan yang diam (*immobile*) mengabsorpsi ion-ion cairan (*liquid*). Kemudian, EDL dikembangkan oleh Gouy-Chapman sebagai ”*stern layer*” dan ”*diffuse layer*” (Devasenathipathy & Santiago, 2003). *Stern layer* adalah lapisan yang diam (*rigid*) menyerap ion-ion dari *diffusi layer* sebagai lapisan yang bergerak karena aliran fluida. Potensial listrik yang terjadi dari EDL adalah zeta potensial (ζ). Adanya PE yang terjadi dibawah permukaan dapat dideteksi di permukaan yang dikenal dengan anomali self-potensial (SP). Anomali SP atau streaming potensial tersebut menunjukkan adanya kecepatan perembesan fluida air dalam medium.



Gambar II.3. Potensial Elektrokinetik (PE) (Fagerlund & Heinson, 2003).

II.2.2 Persamaan Potensial Elektrokinetik

Persamaan potensial elektrokinetik Helmholtz-Smoluchowski dalam (Fagerlund & Heinson, 2003), yang dapat dilihat pada persamaan (4) adalah,

$$\Delta V = \frac{\zeta \varepsilon}{\eta \sigma_w} \Delta P, \quad (4)$$

dengan ζ adalah potensial antara layer + and – (yaitu *solid and liquid phases*), ε adalah konstanta dielektrik dari fluida, η adalah viscosity dari fluida ($\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$), σ_w adalah conductivity dari fluida ($\text{I}^2\text{T}^3\text{M}^{-1}\text{L}^{-2}$), ΔP adalah perbedaan tekanan ($\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$), dan ΔV adalah potensial elektrokinetik (Volt).

Persamaan (4) terutama telah digunakan dalam *hydrogeophysics* untuk mempelajari dinamika fluida dalam media berpori. Aspek-aspek secara fisik potensial elektrokinetik belum sepenuhnya dipahami (Grandis dan Yasser, 2004). Oleh karena itu, kuantifikasi persamaan tersebut masih diperlukan untuk pengembangan geoteknik. Dalam geoteknik, potensial diri adalah digunakan dalam investigasi air tanah “*groundwater*” dan aplikasinya secara “*geotechnical engineering*” untuk studi perembesan air tanah.

Apabila koefisien potensial aliran fluida dalam media berpori “*coupling coefficient*” adalah “*c*” yang didefinisikan sebagai perbandingan antara potensial elektrokinetik (ΔV) dengan perbedaan gradien tekanan (ΔP) maka koefisien potensial elektrokinetik dapat ditulis kembali dalam persamaan (5) sebagai berikut,

$$c = \frac{\zeta \varepsilon}{\eta \sigma_w} \quad (5)$$

dengan c dikenal sebagai koefisien potensial elektrokinetik.

Air akan mengalir jika terdapat perbedaan tinggi muka air “*hydraulic head*”. Menurut hukum Darcy kecepatan aliran air dalam medium sebanding dengan gradien head hidrolik. Gradien head hidrolik adalah selisih ketinggian air dibandingkan dengan jarak antara dua titik media berpori yang dirembesi air yaitu ∇H . Karena itu, apabila $\Delta P = \rho g \nabla H$, dengan ρ adalah densitas dari fluida (kg/m^3),

g adalah konstanta gravitasi (9.81 m/s^2) dan ∇H adalah gradien *hydraulic head* maka persamaan (4) dapat ditulis kembali dalam persamaan (6) sebagai berikut,

$$\nabla V = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 \zeta \rho g}{\eta \sigma_w} \nabla H, \quad (6)$$

dengan ζ adalah zeta-potensial, ε_r adalah konstanta dielektrik relative cairan, ε_0 adalah konstanta dielektrik dalam ruang vakum, dan η adalah viskositas fluida. Persamaan (6) dikenal pula dengan persamaan Helmholtz-Smoluchowski (Fagerlund & Heinson, 2003).

Apabila koefisien potensial aliran fluida dalam media berpori “*coupling coefficient*” adalah “ c ” yang didefinisikan sebagai perbandingan antara potensial elektrokinetik (ΔV) dengan perbedaan gradien tekanan (ΔP) maka koefisien potensial elektrokinetik yang baru pada persamaan (6) menjadi perbandingan antara potensial elektrokinetik (ΔV) dengan gradien head hidrolik (∇H). Perbandingan antara (ΔV) dengan (∇H) didapatkan koefisien potensial elektrokinetik yang baru sebagai berikut,

$$C = \frac{\zeta \varepsilon \rho g}{\eta \sigma_w}, \quad (7)$$

dengan C adalah koefisien konduktivitas elektrohidrolik.

Potensial elektrokinetik pada persamaan (6) sebagai anomali potensial alami atau potensial diri (self-potential) bila dihubungkan dengan persamaan hukum Darcy pada persamaan (3) jika gradien head hidrolik (∇H) sama dengan dh/dl , maka diperoleh persamaan (8) sebagai berikut,

$$v = \frac{k}{\eta c} \nabla V = \frac{K}{C} \nabla V, \quad (8)$$

dengan v adalah laju aliran fluida air (LT^{-1}), k adalah permeabilitas intrinsik, (L^2), K adalah konduktivitas hidrolik (LT^{-1}), η adalah viscosity dari fluida ($\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$), c adalah koefisien potensial elektrokinetik ($\text{L}^3\text{T}^{-1}\text{T}^{-1}$), C adalah koefisien

konduktivitas elektrohidrolik (Volt/m), dan ∇V adalah gradien potensial elektrokinetik ($\text{MLI}^{-1}\text{T}^{-3}$).

Persamaan (8) menyatakan hubungan antara kecepatan aliran fluida dengan anomali potensial elektrokinetik dalam medium. Persamaan (8) tersebut akan dijadikan fokus dalam penelitian ini. Yaitu menentukan nilai K dan nilai C serta distribusinya di wilayah permukaan kampus UNHAS Tamalanrea. Dari distribusi nilai K dan C tersebut dapat diketahui distribusi laju resapan air di permukaan tanah kampus UNHAS Tamalanrea.

Studi potensial elektrokinetik (PE) atau streaming potensial karena aliran fluida dalam medium berpori menyebabkan terjadinya potensial diri (SP). Studi tersebut telah dilakukan oleh beberapa orang, diantaranya oleh Nurhandoko dkk (2001), Vichabian dkk.(2002), Perrier dan Froidefond (2003), Moore (2004), Kim dkk (2005).

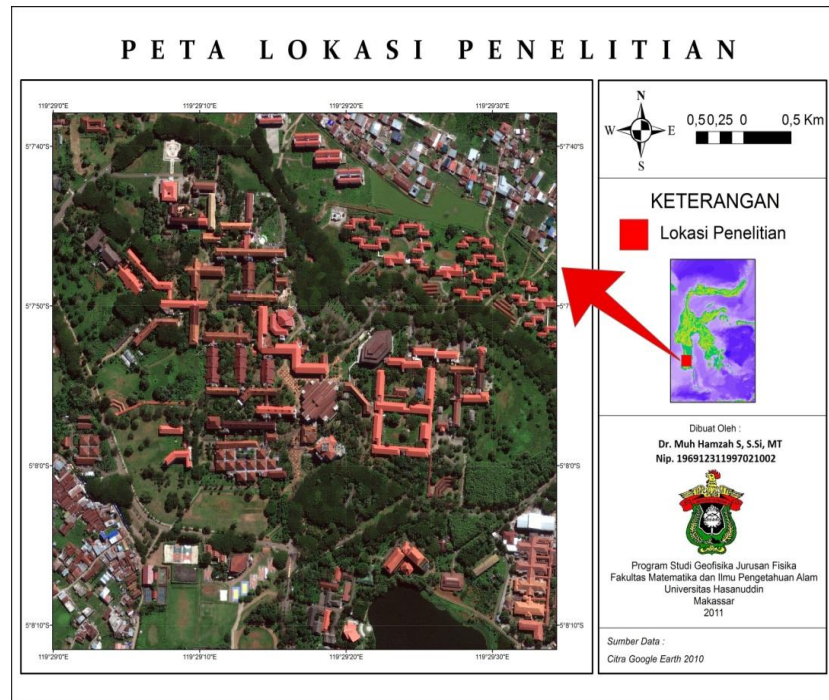
BAB III. METODE PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian dan Alat

Penelitian hibah bersaing tahun kedua 2011 adalah lanjutan dari penelitian hibah bersaing tahun pertama 2010. Fokus penelitian tahun pertama adalah percobaan laboratorium sedangkan fokus penelitian tahun ke-dua adalah pengukuran di lapangan yang dilakukan di daerah kampus UNHAS Tamalanrea Makassar. Pada percobaan laboratorium yang dilakukan pada tahun 2010 telah diperoleh dua macam nilai konstanta dari sampel tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea yaitu konduktivitas hidrolik (K) dan konduktivitas elektrohidrolik (C). Pengukuran potensial elektrokinetik sebagai potensial diri (SP) di daerah Kampus UNHAS Tamalanrea bertujuan untuk melihat bagaimana distribusi K dan C di daerah tersebut.

Lokasi penelitian untuk pengukuran potensial elektrokinetik dan topografi dilakukan di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar. Secara keseluruhan luas kampus UNHAS Tamalanrea Makassar adalah 2.121.356 m². Tidak semua lokasi UNHAS tersebut dilakukan survei dengan metoda SP dan pengukuran topografi karena lokasi yang menjadi target penelitian adalah daerah pusat aktivitas akademik sehari-hari di UNHAS. Selain itu, lokasi UNHAS sebagian sudah digunakan untuk Rumah Sakit Wahidin dan Politeknik Negeri Makassar.

Luas daerah kampus UNHAS Tamalanrea yang disurvei dengan metoda SP dan pengukuran topografi adalah lebih dari separuhnya yaitu 1100 meter kali 1100 meter atau 1,21 km². Daerah penelitian tersebut berada di jantung kampus UNHAS Tamalanrea sebagai pusat aktivitas tridarma PT UNHAS sehari-hari. Lokasi pengukuran SP dan topografi berada pada koordinat geodetik 119°29'34.2654"E - 119°29'5.0561"E dan 5°7'39.4291"S - 5°8'11.5991"S. Lokasi penelitian di Kampus Unhas Tamalanrea Makassar dapat dilihat pada Gambar III.1.



Gambar III.1 (a). Peta lokasi penelitian kampus UNHAS Tamalanrea dan sekitarnya beserta (b). Titik-titik pengukuran topografi dan SP disetiap perpotogan garis sumbu vertikal dan horisontal sebanyak 121 titik pengukuran (Dimodifikasi dari peta kampus UNHAS Tamalanrea dari www.wikimapia.com)

Data penelitian di daerah kampus UNHAS Tamalanrea yang diukur adalah data topografi dan data potensial alami yaitu SP. Koordinat pengukuran topografi dan pengukuran SP dalam koordinat geografi dapat dilihat pada **Lampiran A**. Data topografi diukur menggunakan GPSmap merek GRN 60 CSX sedangkan data geolistrik SP diukur menggunakan voltmeter digital merek Sanwa PC500 dengan ketelitian 0,01 mV. Pengukuran SP dilakukan menggunakan dua buah elektroda tembaga menggunakan *porous pot* untuk memperoleh kontak yang baik antara elektroda dengan permukaan tanah. Alat ukur topografi dan SP dapat dilihat pada Gambar III.2.

A L A T U K U R

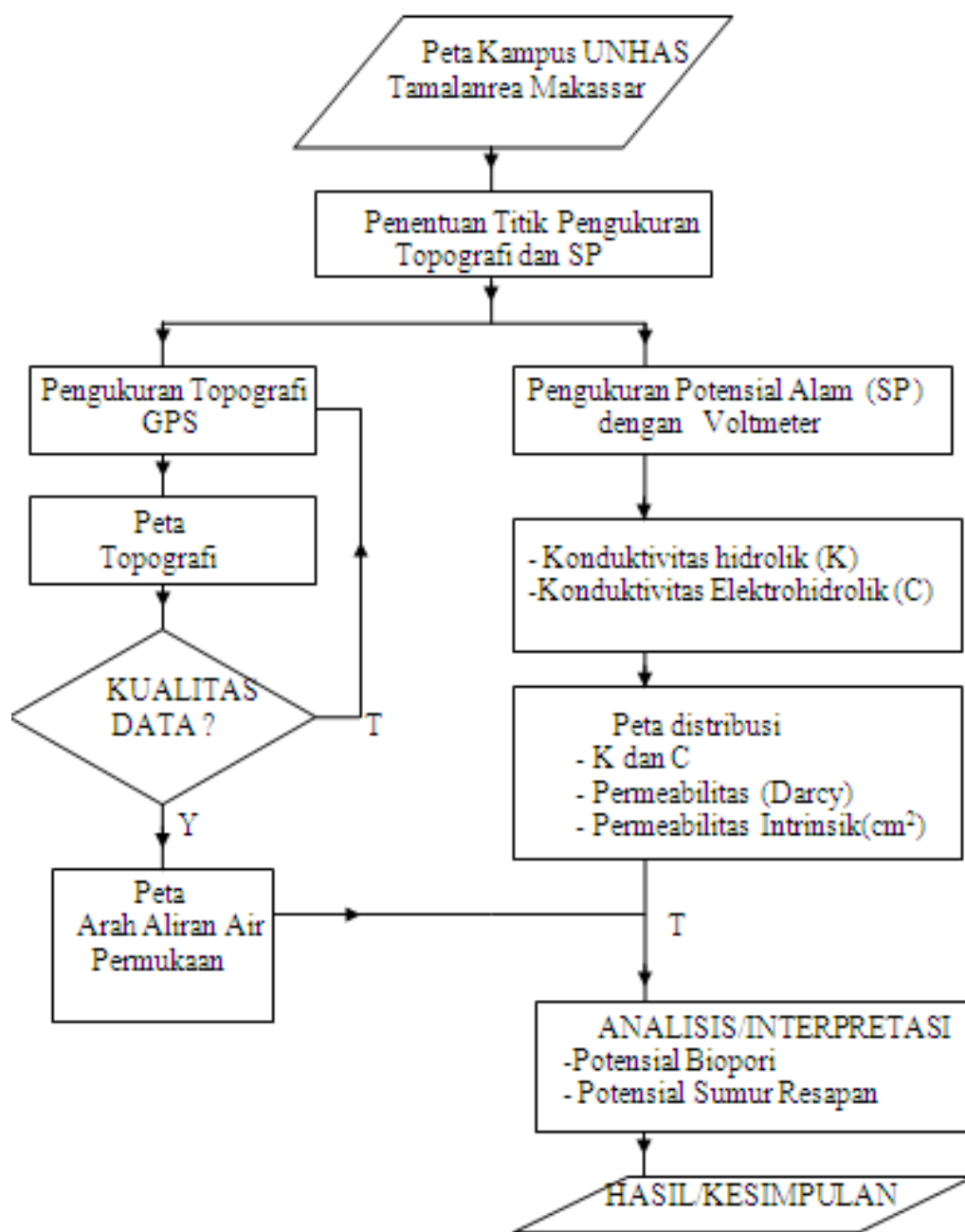


Gambar III.2 Alat ukur topografi GPS dan alat ukur SP Sanwa PC500

Dari data topografi selain dapat dilihat bentuk permukaan dan ketinggian permukaan tanah di kampus UNHAS Tamalanrea dapat pula dipetakan arah aliran air dipermukaan dari data topografi. Sedangkan data SP dapat diketahui sebaran konduktivitas hidrolik permukaan tanah di kampus UNHAS Tamalanrea. Selanjutnya, dari data konduktivitas hidrolik tersebut dapat dicari sebaran permeabilitas (Darcy) dan permeabilitas intrinsiknya.

III.2 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian yang ditempuh dimulai dengan studi literatur dan penelitian laboratorium pada penelitian tahun pertama hibah bersaing tahun 2010 (Syahrudin, 2010), kemudian dilanjutkan dengan bagan alir penelitian tahun kedua hibah bersaing 2011. Bagan alir penelitian hibah bersaing tahun 2011 sebagai kelanjutan dari hibah bersaing tahun 2010 dapat dilihat pada Gambar III.3.



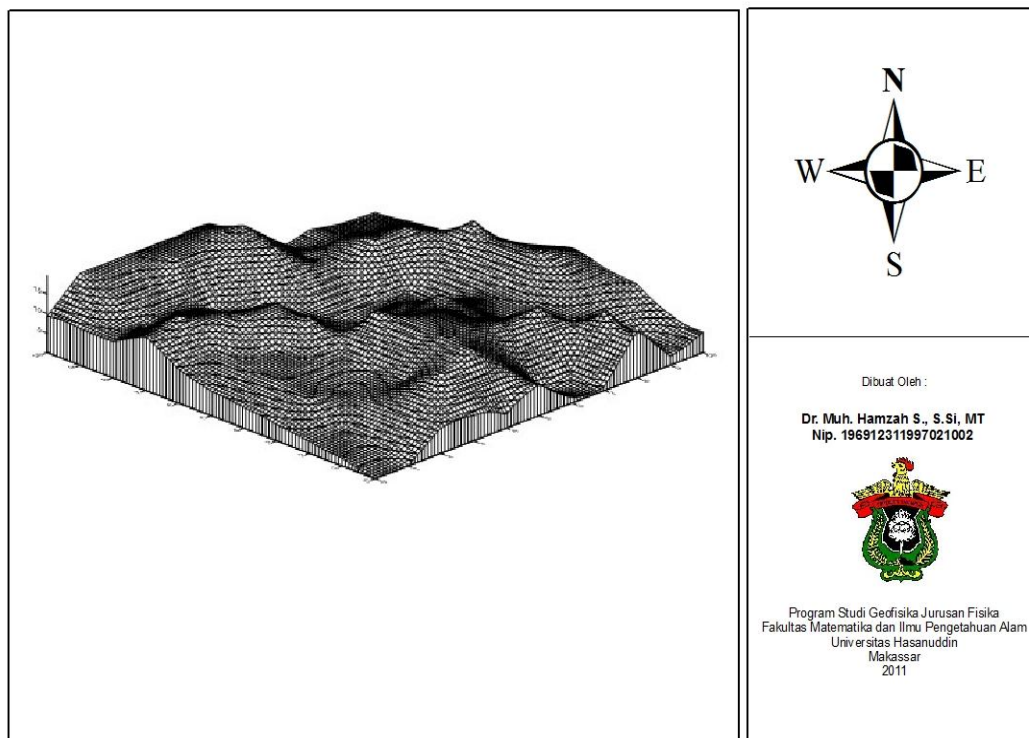
Gambar III.3 Bagan Alir Penelitian

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV. 1 Topografi dan Arah Aliran Air Permukaan Kampus UNHAS Tamalanrea

Pengukuran topografi dilakukan pada awal bulan Mei 2011 sampai awal bulan Juni 2011. Hasil pengukuran topografi Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dilihat pada **Lampiran A** kolom 4. Sedangkan kontur tiga dimensi hasil pengukuran topografi Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dilihat pada Gambar IV.1. Topografi Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar mempunyai ketinggian rata-rata 18 meter yang berada diantara 10 sampai 32 meter di atas permukaan laut (MSL).

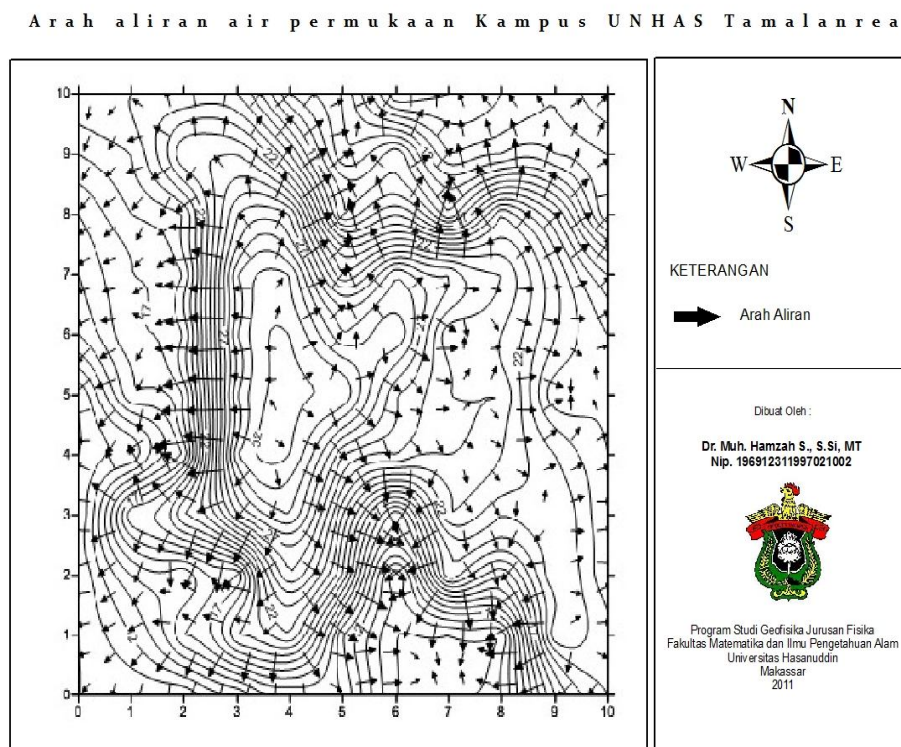
TOPOGRAFI KAMPUS UNHAS TAMALANREA



Gambar IV.1 Topografi Kampus UNHAS Tamalanrea. Data topografi diukur menggunakan GPSmap merek GRN 60 CSX

Dari hasil pengukuran topografi pada Gambar IV.1 dapat diketahui arah aliran air permukaan di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar. Arah aliran air permukaan di Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dilihat pada Gambar IV.2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa arah aliran air permukaan mengarah ke sekeliling pinggiran kampus.

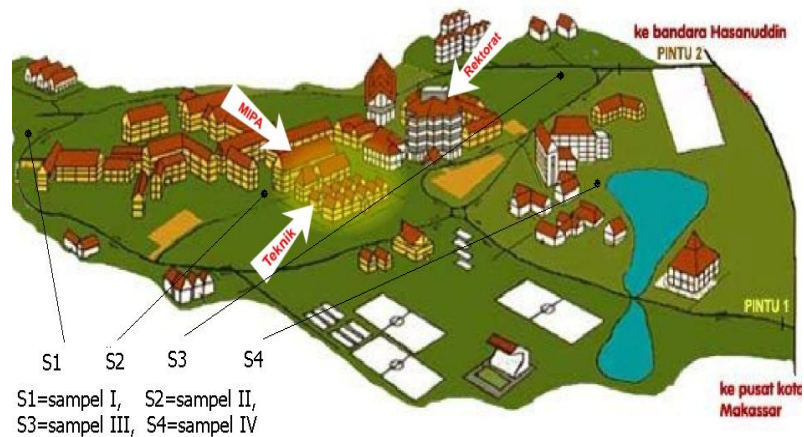
Berdasarkan luas daerah aliran air permukaan pada Gambar IV.2 dapat dilihat bahwa arah aliran air permukaan lebih besar ke arah timur dan kearah barat dibandingkan dengan aliran air permukaan ke arah utara dan selatan. Data aliran air permukaan dapat dipergunakan dalam perencanaan penempatan sumur resapan dan perencanaan dan penempatan serta jumlah biopori yang diperlukan. Data aliran air permukaan pada Gambar IV.2 dipadukan dengan data distribusi permeabilitas yang diperoleh dari anomali SP untuk memperkirakan daerah yang potensial sebagai sumur resapan dan daerah yang potensial sebagai biopori.



Gambar IV.2 Arah aliran air permukaan Kampus UNHAS Tamalanrea

IV.2 Nilai K dan Nilai C Sampel Tanah Kampus Unhas Tamalanrea

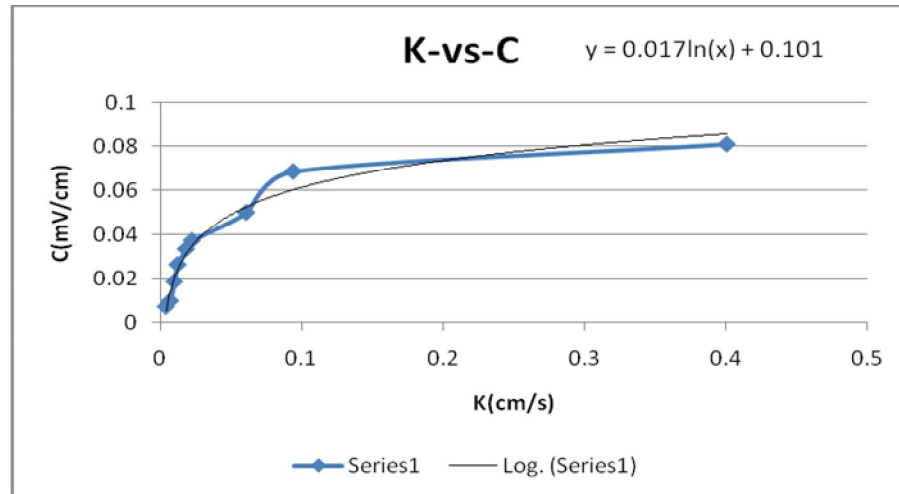
Pada penelitian hibah bersaing tahun 2010 sebagai kelanjutan dari penelitian hibah bersaing tahun 2011 telah dilakukan percobaan laboratorium penentuan nilai K dan nilai C dari sampel tanah Kampus UNHAS Tamalanrea. Pengambilan contoh tanah di daerah kampus Unhas Tamalanrea diambil dari empat lokasi. Sampel pertama (S1) diambil dari lokasi di sekitaran laboratorium Dasar FMIPA UNHAS. Sampel kedua (S2) diambil di sekitar Rumah Sakit Wahidin. Sampel ketiga (S3) diambil dari sekitaran Politeknik Negeri Makassar. Dan sampel keempat (S4) diambil dari sekitar Danau UNHAS. Tempat pengambilan sampel tanah di kampus UNHAS Tamalanrea Makassar dapat dilihat pada Gambar IV.3.



Gambar IV.3 Sketsa Gambar tempat pengambilan sampel Tanah untuk Mengetahui Nilai Konduktivitas Hidrolik (K) dan Konduktivitas Elektrohdrolik (C) Sampel Tanah di kampus UNHAS Tamalanrea Makassar (modifikasi dari peta UNHAS di www.unhas.ac.id)

Hasil percobaan laboratorium yang telah dilakukan oleh Syahrudin (2010), untuk mengetahui nilai konduktivitas hidrolik (K) dan konduktivitas elektrohdrolik (C) menggunakan delapan macam sampel media berpori yang dibuat di laboratorium berdasarkan ukuran butir. Dari delapan sampel tersebut diketahui hubungan antara (K) dan (C). Hubungan K dan C yang diperoleh adalah bersifat logaritmik atau bersifat eksponensial. Oleh karena itu, untuk nilai K yang

sangat besar ataupun sangat kecil maka nilai C semakin mendekati nilai konstan seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 Grafik hubungan antara K dan C

Hubungan antara K dan C sangat penting diketahui karena sampel tanah yang umumnya mempunyai koefisien permeabilitas yang rendah ternyata sulit diketahui nilai konduktivitas elektrohidroliknya melalui percobaan secara langsung di laboratorium (Syahrudin, 2010). Oleh karena itu, hubungan antara K dan C digunakan untuk menghitung konduktivitas elektrohidrolik (C) dari sampel tanah di kampus UNHAS Tamalanrea Makassar.

Dari empat contoh tanah dari S1-S4 yang diambil dari kampus Unhas Tamalanrea telah diketahui nilai koefisien permeabilitasnya masing-masing yaitu konduktivitas hidrolik (K). Dari nilai K media berpori di Kampus UNHAS Tamalanrea tersebut maka dapat dihitung nilai konduktivitas elektrohidrolik (C) menggunakan interpolasi dari hubungan K dan C pada Gambar IV.4. Nilai K dan nilai C hasil interpolasi dari S1, S2, S3, dan S4 dapat dilihat pada Tabel VI.1.

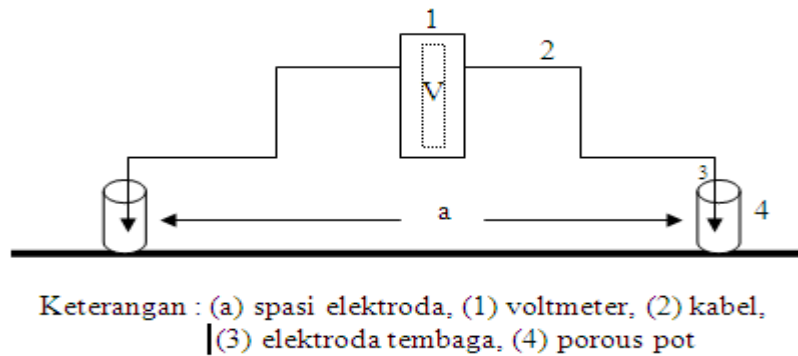
**Tabel IV.1 Nilai K dan C Sampel Tanah Daerah Kampus
Unhas Tamalanrea**

No	Sampel	K (cm/s)	C(mV/cm)
1	Sampel-1	0,006	0,01402
2	Sampel-2	0,007	0,01664
3	Sampel-3	0,014	0,02843
4	Sampel-4	0,022	0,03812

IV.3 Hasil Pengukuran SP

Pengukuran SP di lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar dilakukan pada awal bulan Mei 2011 sampai awal bulan Juni 2011. Dari teori potensial alami diketahui bahwa potensial listrik dapat terjadi karena adanya aliran air dalam media berpori seperti tanah. Oleh karena itu, pengukuran SP dilakukan pada bulan Mei sampai Juni karena pada bulan tersebut masih musim hujan meskipun sudah transisi dari musim hujan ke musim kemarau. Pengukuran SP dilakukan sebanyak 121 titik sesuai dengan jumlah titik koordinat yang telah ditentukan seperti pada Gambar III.1. Koordinat pengukuran dalam koordinat geografi dapat dilihat pada **Lampiran A**. Jarak antara titik pengukuran dengan titik pengukuran berikutnya adalah seratus meter. Dalam pengukuran SP digunakan jarak spasi elektroda (a) yang tetap yaitu sepanjang duapuluh (20 meter) untuk setiap titik pengukuran.

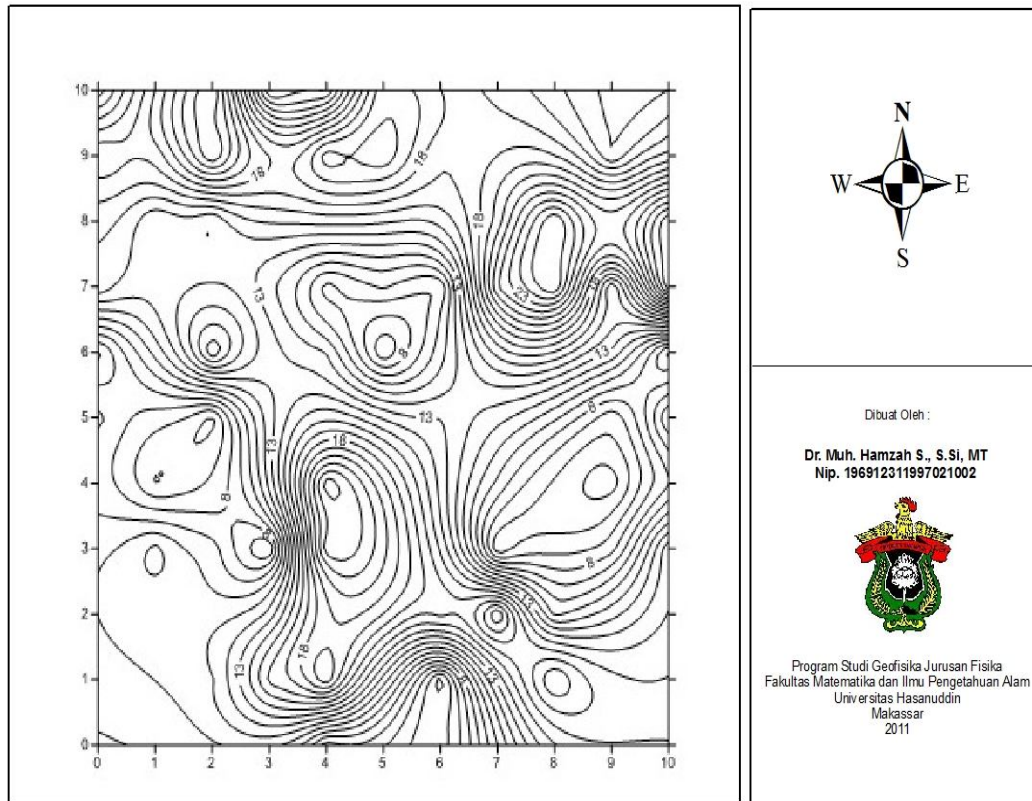
Beda potensial antara elektroda negatif dan elektroda positif yang diperoleh untuk setiap spasi elektroda merupakan gradien SP. Alat ukur SP menggunakan voltmeter digital (Sanwa-PC500) dengan ketelitian 0,01 mV. Sebagai pembanding dilakukan pula pengukuran menggunakan voltmeter digital (Fluke-87) dengan ketelitian 0.1 mV. Hasil pengukuran dari kedua voltmeter digital tersebut tidak menunjukkan perbedaan sehingga penggunaan salah satu dari voltmeter digital dianggap telah memadai. Cara melakukan pengukurannya ialah dengan memakai dua buah elektroda tembaga yang menggunakan *porous pot* untuk memperoleh kontak yang baik antara elektroda dan permukaan tanah. Sketsa metoda pengukuran SP di lapangan dapat dilihat pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Sketsa Metode Pengukuran SP
 lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar

Tahanan *porous pot* selalu diusahakan sekecil mungkin dengan mengisi larutan *kimia* agar kontak yang baik dengan sumber arus listrik dalam medium. Selain itu, penggunaan *porous pot*, untuk menghindari terjadinya polarisasi muatan di dua elektroda tembaga. Untuk menghindari polarisasi muatan pada elektroda, *porous pot* diisi dengan larutan *copper sulphate* (CuSO_4) padat maupun cair. Pengambilan data potensial listrik baru dilakukan setelah potensial listrik yang muncul dianggap benar-benar stabil. Hasil pengukuran nilai SP di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar dapat dilihat pada Gambar IV.6.

Hasil pengukuran nilai SP Kampus UNHAS Tamalanrea



Gambar IV.6. Hasil pengukuran nilai SP Kampus UNHAS Tamalanrea

IV.4 Distribusi Nilai K dan Nilai C Kampus UNHAS Tamalanrea

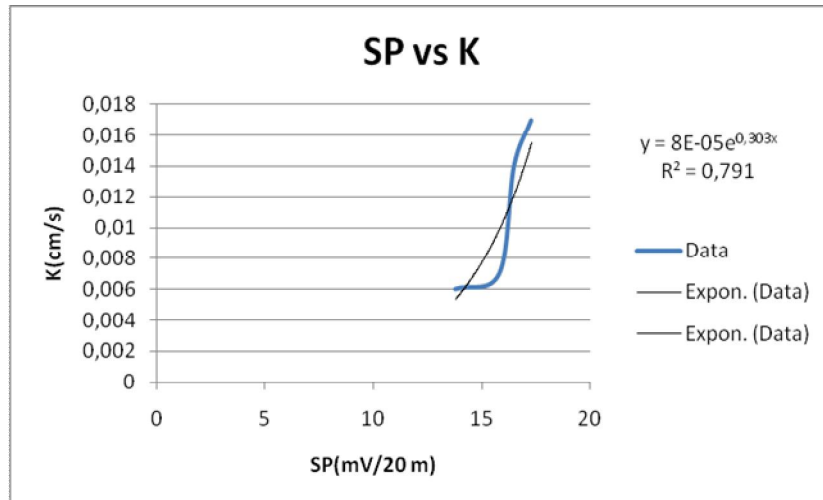
Distribusi nilai K permukaan tanah Kampus UNHAS Tamalanrea ditentukan dari data SP. Cara menentukan distribusi nilai K dari data SP adalah membuat grafik antara SP yang diukur di tempat pengambilan sampel di Kampus UNHAS Tamalanrea dengan nilai K di tempat tersebut. Grafik yang diperoleh dari SP terhadap K dapat diketahui persamaan yang menghubungkan antara kedua variabel itu. Persamaan yang diperoleh dari hubungan SP dan K digunakan untuk menghitung semua nilai K dari seluruh data SP yang diperoleh dari lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea. Dengan demikian, distribusi nilai K di Kampus UNHAS Tamalanrea dapat diketahui dari hasil pengukuran SP di lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea.

Nilai K yang diperoleh dari percobaan laboratorium dari setiap sampel tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea dengan nilai anomali SP yang diperoleh dari pengukuran lapangan pada titik-titik pengambilan sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel IV.2. Secara umum dapat dilihat pada tabel VI.2 bahwa nilai SP semakin besar apabila nilai K semakin besar yang ternyata juga sesuai dengan percobaan di laboratorium.

Tabel IV.2 Nilai K dan SP pada Titik Pengambilan Sampel di Lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea

No	Sampel	K (cm/s)	SP(mV/20 m)
1	Sampel-1	0,006	13,79
2	Sampel-2	0,007	15,83
3	Sampel-3	0,014	16,50
4	Sampel-4	0,022	17,30

Untuk mengetahui bagaimana hubungan antara nilai SP dan nilai K maka terlebih dahulu dibuat grafik antara nilai SP dan nilai K. Grafik antara nilai SP terhadap nilai K pada Tabel IV.2 dapat dilihat pada Gambar IV.7 menggunakan *microsoft office excel 2007*. Dari grafik antara SP terhadap K pada Gambar IV.7 dapat diperoleh formula (trandline) yang menghubungkan antara SP dengan K. Formula yang menghubungkan antara SP dan K merupakan rumus pendekatan yang mudah diketahui menggunakan perangkat lunak yang sama.

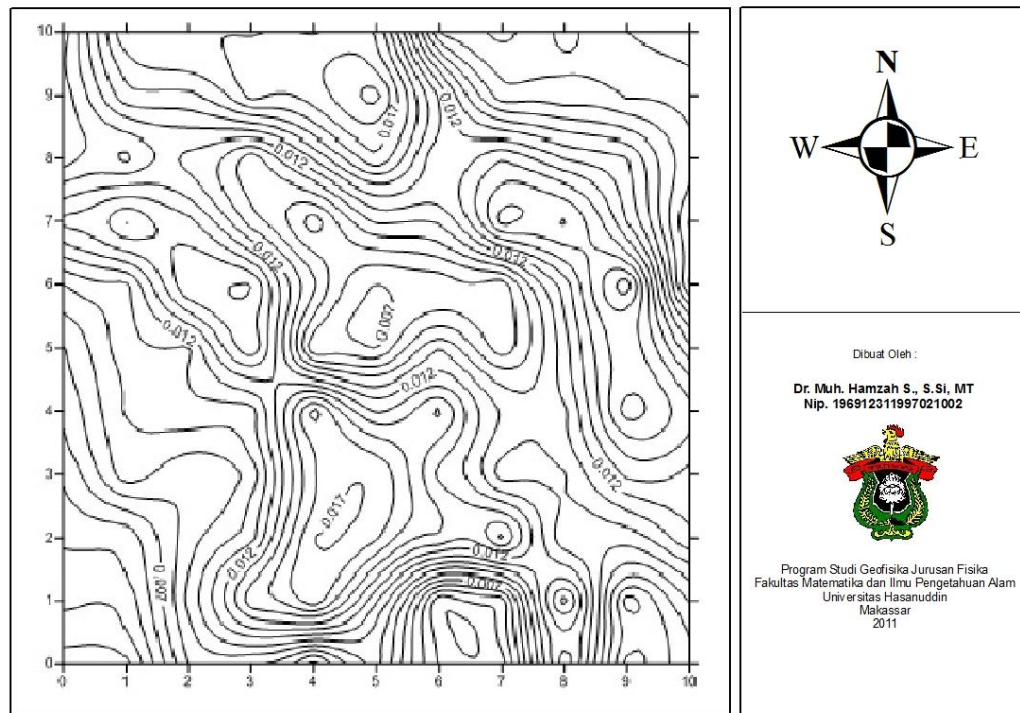


Gambar IV.7 Grafik antara SP dengan K dan rumus pendekatannya berupa eksponensial

Rumus pendekatan yang diperoleh dari grafik yang menghubungkan antara nilai SP dengan nilai K adalah berupa eksponensial. Rumus pendekatan yang menghubungkan antara nilai SP dengan nilai K dapat dilihat pada Gambar IV.7. Rumus yang menghubungkan antara nilai SP dengan nilai K tersebut digunakan untuk menghitung distribusi nilai K di seluruh titik pengukuran SP di lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar.

Distribusi nilai K di Kampus UNHAS Tamalanrea yang dihitung berdasarkan formula eksponensial pada Gambar IV.7 dapat dilihat hasilnya pada Gambar IV.8. Distribusi nilai K (cm/s) di Kampus UNHAS Tamalanrea yang didapatkan berdasarkan formula tersebut, ternyata bahwa nilai konduktivitas hidrolik berada pada kisaran nilai antara $1,45 \times 10^{-4} - 1,74 \times 10^{-2}$ cm/s. Bila nilai K(cm/s) tersebut dikonversi ke dalam nilai K(darcy) maka diperoleh 0,15 – 18 Darcy.

Distribusi K Kampus UNHAS Tamalanrea



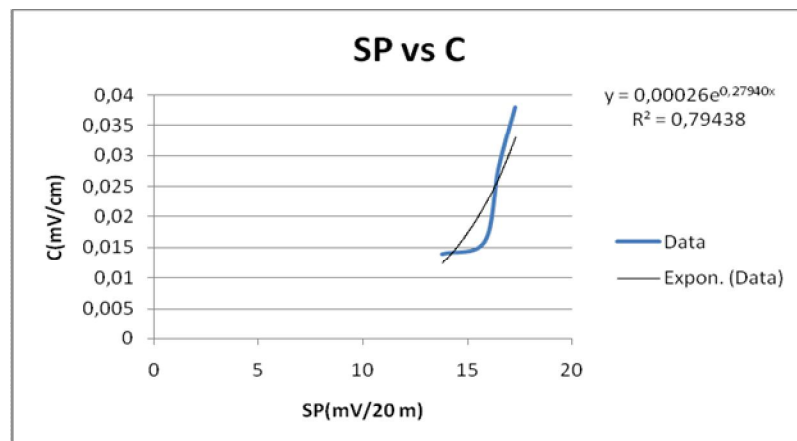
Gambar IV.8 Kontur Distribusi nilai $K(\text{cm/s})$ Kampus UNHAS Tamalanrea

Dengan cara yang sama dalam memperoleh distribusi nilai K Kampus UNHAS Tamalanrea dapat digunakan untuk memperoleh distribusi nilai C Kampus UNHAS Tamalanrea. Nilai C yang diperoleh dari percobaan laboratorium sampel tanah Kampus UNHAS Tamalanrea dan nilai SP yang diperoleh dari pengukuran lapangan tempat pengambilan sampel di Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dilihat pada Tabel IV.3.

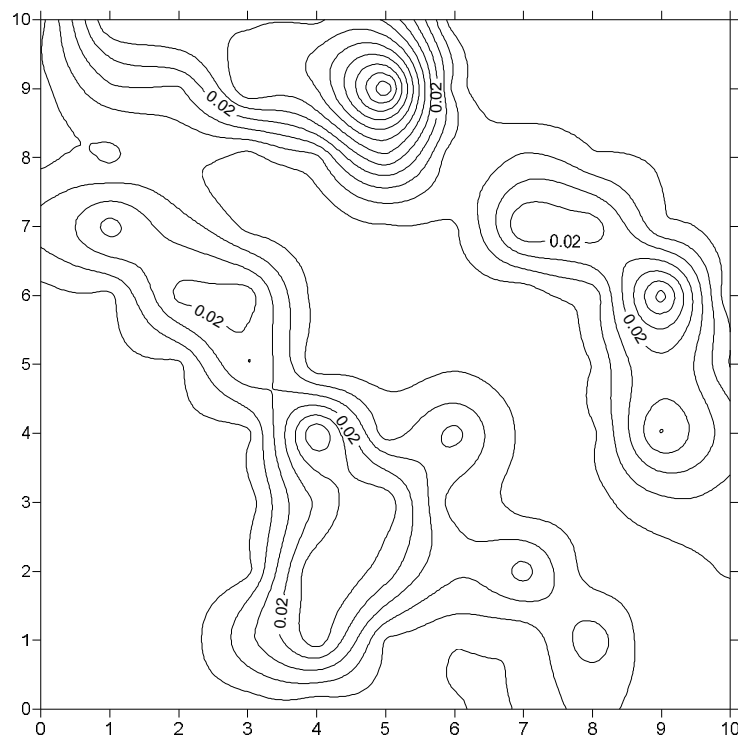
Tabel IV.3 Nilai C dan SP pada Titik Pengambilan Sampel di Lapangan Kampus UNHAS Tamalanrea

No	Sampel	$C(\text{mV/cm})$	$SP(\text{mV}/20 \text{ m})$
1	Sampel-1	0,01402	13,79
2	Sampel-2	0,01664	15,83
3	Sampel-3	0,02843	16,50
4	Sampel-4	0,03812	17,30

Grafik antara nilai SP dan nilai C dapat dilihat pada Gambar IV.9. Selanjutnya rumus pendekatan hubungan antara nilai SP dengan C juga berupa eksponensial yang dapat pula dilihat pada Gambar IV.9. Dari rumus pendekatan hubungan tersebut diperoleh distribusi nilai C Kampus UNHAS Tamalanrea yang dapat dilihat pada Gambar IV.10



Gambar IV.9 Grafik antara SP dengan C dan rumus pendekatannya berupa eksponensial



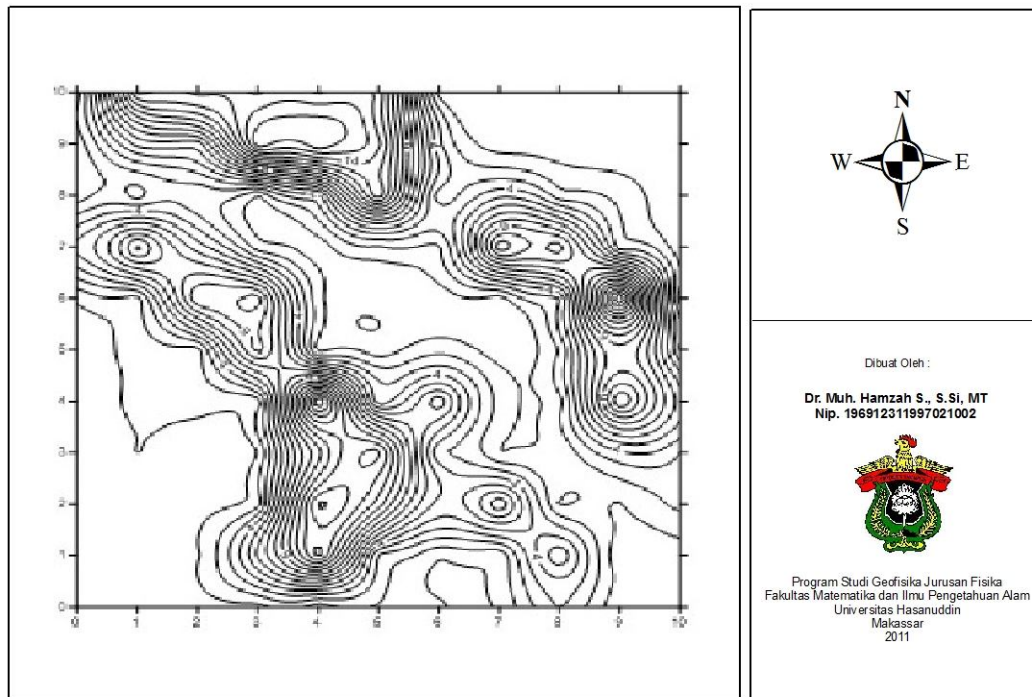
Gambar IV.10 Distribusi Nilai C (mV/cm) Kampus UNHAS Tamalanrea

IV.5 Distribusi Nilai Permeabilitas Kampus UNHAS Tamalanrea

Permeabilitas adalah kemampuan tanah untuk dapat dirembesi air yang biasa disebut dengan daya rembesan. Koefisien permeabilitas atau nilai konduktivitas hidrolik (K) umumnya dinyatakan dalam satuan (Darcy). Sedangkan nilai permeabilitas intrinsik adalah permeabilitas yang sebenarnya dari media berpori yang semata-mata ditentukan oleh geometri pori dinyatakan dalam satuan cm^2 . Namun demikian, nilai permeabilitas dan permeabilitas intrinsik Kampus UNHAS Tamalanrea dapat diperoleh dari konversi nilai konduktivitas hidrolik (K) dalam satuan cm/s ke satuan nilai permeabilitas yaitu Darcy. Nilai konvesinya adalah 1 Darcy ekuivalen dengan konduktivitas hidrolik $0,966 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ dan setara dengan permeabilitas intrinsik $0,987 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$ dalam Touloukian (1981).

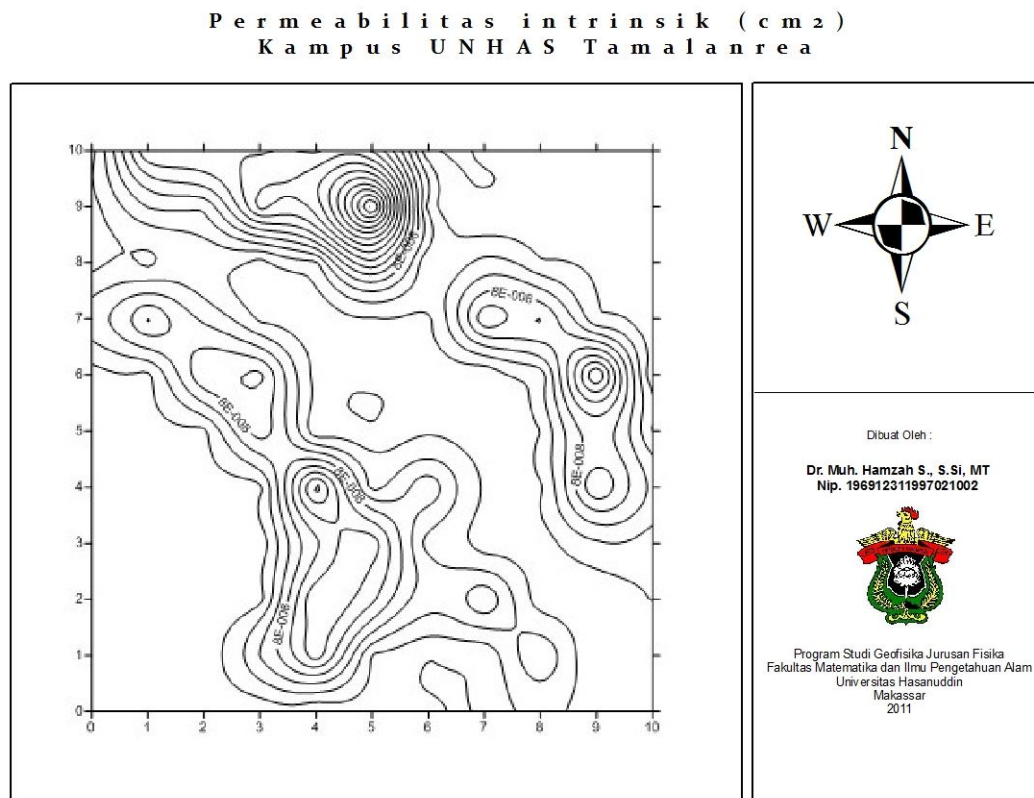
Distribusi nilai permeabilitas dalam satuan Darcy Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dilihat pada Gambar IV.11. Sedangkan nilai permeabilitas intrinsik di Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dilihat pada Gambar IV.12.

P e r m e a b i l i t a s (D a r c y)
K a m p u s U N H A S T a m a l a n r e a



Gambar IV.11 Nilai permeabilitas K (Darcy) Kampus UNHAS Tamalanrea

Nilai permeabilitas Kampus UNHAS Tamalanrea yang diperoleh mempunyai nilai rata-rata 3,9 Darcy dengan interval nilai antara 0,15 – 18 Darcy. Sedangkan nilai permeabilitas intrinsik rata-rata $4 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$ yang mempunyai interval nilai antara $1,5 \times 10^{-9} - 1,8 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$.



Gambar IV.12 Permeabilitas intrinsik (cm²) Kampus UNHAS Tamalanrea

IV.6 Analisis dan Interpretasi

Nilai konduktivitas hidrolik $K(\text{cm/s})$ di Kampus UNHAS Tamalanrea berada pada kisaran nilai antara $1,45 \times 10^{-4} - 1,74 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$. Sedangkan nilai permeabilitas $K(\text{Darcy})$ berada pada interval nilai antara 0,15 – 18 Darcy. Secara statistik nilai permeabilitas rata-rata di Kampus UNHAS Tamalanrea adalah 3,9 Darcy. Apabila nilai K di Kampus UNHAS Tamalanrea dibandingkan dengan nilai K pada Tabel II.1 dari Bouwer, maka nilai K tanah di Kampus Unhas Tamalanrea mendekati nilai K dari lempung dan pasir halus. Selanjutnya bila dibandingkan dengan klasifikasi nilai permeabilitas akifer menurut Chow maka nilai permeabilitas di Kampus UNHAS Tamalanrea berada pada nilai permeabilitas yang kurang baik. Oleh karena itu, nilai permeabilitas di Kampus UNHAS Tamalanrea lebih bersifat semipermeabel.

Kisaran nilai permeabilitas akifer menurut klasifikasi Chow, 1964 dalam Touloukian (1981), kisaran nilai permeabilitas yang baik (*good aquifer*) adalah

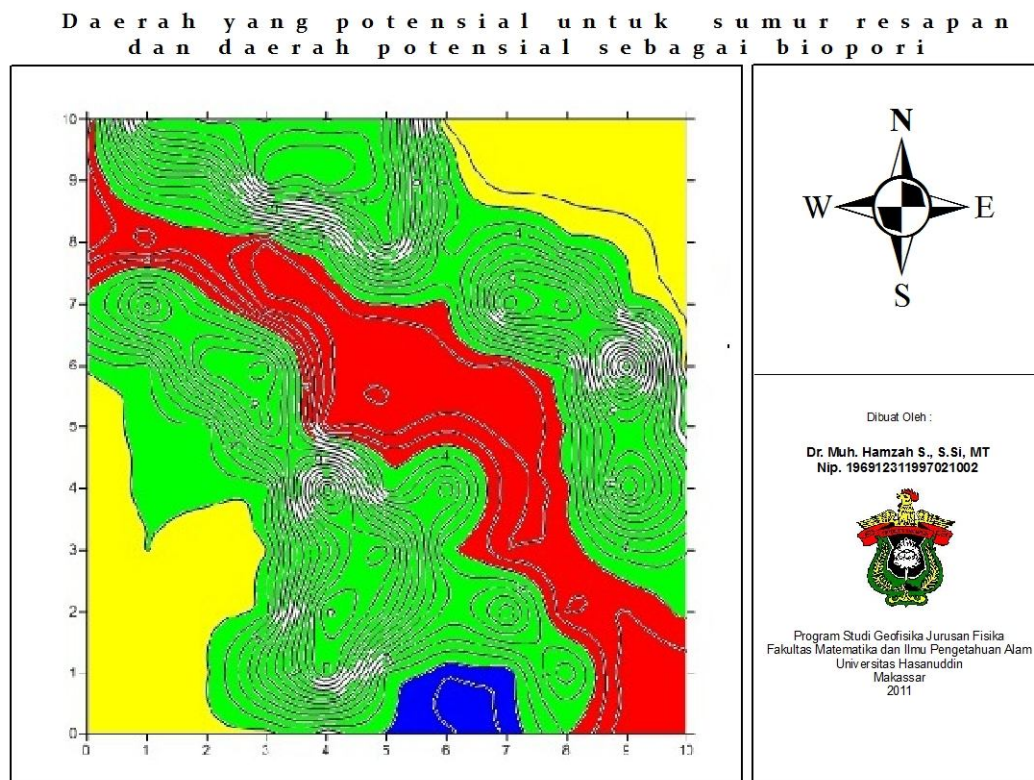
10^5 - 1 Darcy, permeabilitas kurang baik (*poor aquifer*) 1 - 10^4 Darcy, dan permeabilitas yang dianggap kedap (*impermeable*) adalah nilai permeabilitas yang lebih kecil dari 10^4 - ~ Darcy. Berdasarkan klasifikasi tersebut maka nilai permeabilitas Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dibagi atas tiga macam kategori. Kategori pertama, permeabilitas antara 0,15 sampai 1 Darcy sebagai permeabilitas yang rendah (buruk). Kedua, permeabilitas antara 1 sampai 4 Darcy sebagai permeabilitas sedang (kurang baik). Ketiga, permeabilitas 4 sampai 18 Darcy sebagai permeabilitas yang tinggi (agak baik) tetapi masih berada pada skala terendah 'akifer baik' dari Chow. Terkait dengan ketiga kategori nilai permeabilitas di Kampus UNHAS Tamalanrea tersebut, maka dapat diperkirakan atau ditafsirkan daerah yang potensial dikembangkan sebagai sumur resapan dan daerah yang potensial dikembangkan sebagai sumur resapan biopori.

Nilai permeabilitas yang rendah dan sedang dari 0,15 sampai 4 Darcy di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar dapat disebabkan oleh banyak faktor. Beberapa faktor yang dapat diidentifikasi di lapangan adalah sebagian besar permukaan tanah itu sudah tertutup dengan bangunan, permukaan tanah yang masih kosong sebagai ruang terbuka sudah tertutup dengan tembok dan peping blok, tanahnya semakin kompak karena aktivitas manusia yang lalulalang dan ketebalan tanah yang relatif dangkal. Selain itu, di daerah yang nilai permeabilitas rendah dan sedang tersebut terdapat beberapa sumur bor yang digunakan untuk mencukupi kebutuhan air sehari-hari di Kampus UNHAS Tamalanrea. Dengan demikian, daerah yang permeabilitas rendah dan sedang di Kampus UNHAS Tamalanrea perlu ada upaya yang sungguh-sungguh untuk memulihkan dan memaksimalkan peresapan air di daerah tersebut. Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk memulihkan dan memaksimalkan peresapan air ke dalam tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea adalah pembuatan sumur imbuhan yang mencapai akifer sebagai sumur pengimbuhan air pada musim penghujan.

Nilai permeabilitas yang tertinggi (agak baik) dari 4 sampai 18 Darcy di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar berada di daerah yang relatif masih kosong dan tumbuh banyak pepohonan sebagai ruang terbuka hijau. Oleh karena itu, dapat dipahami bahwa nilai permeabilitas yang agak baik di Kampus UNHAS Tamalanrea karena kontribusi dari vegetasi dan ruangan yang masih terbuka.

Namun demikian, masih perlu untuk memaksimalkan peresapan air ke dalam tanah pada daerah tersebut pada musim hujan dengan menerapkan teknologi biopori. Teknologi biopori adalah suatu teknologi yang sederhana untuk meningkatkan dan memaksimalkan proses peresapan air ke dalam tanah. Teknologi ini diperkenalkan oleh Kamir R. Brata (<http://www.biopori.com>) seorang peneliti dari Institut Pertanian Bogor yang mengembangkan penemuan ilmiahnya tentang Lubang Serapan Biopori untuk mencegah banjir.

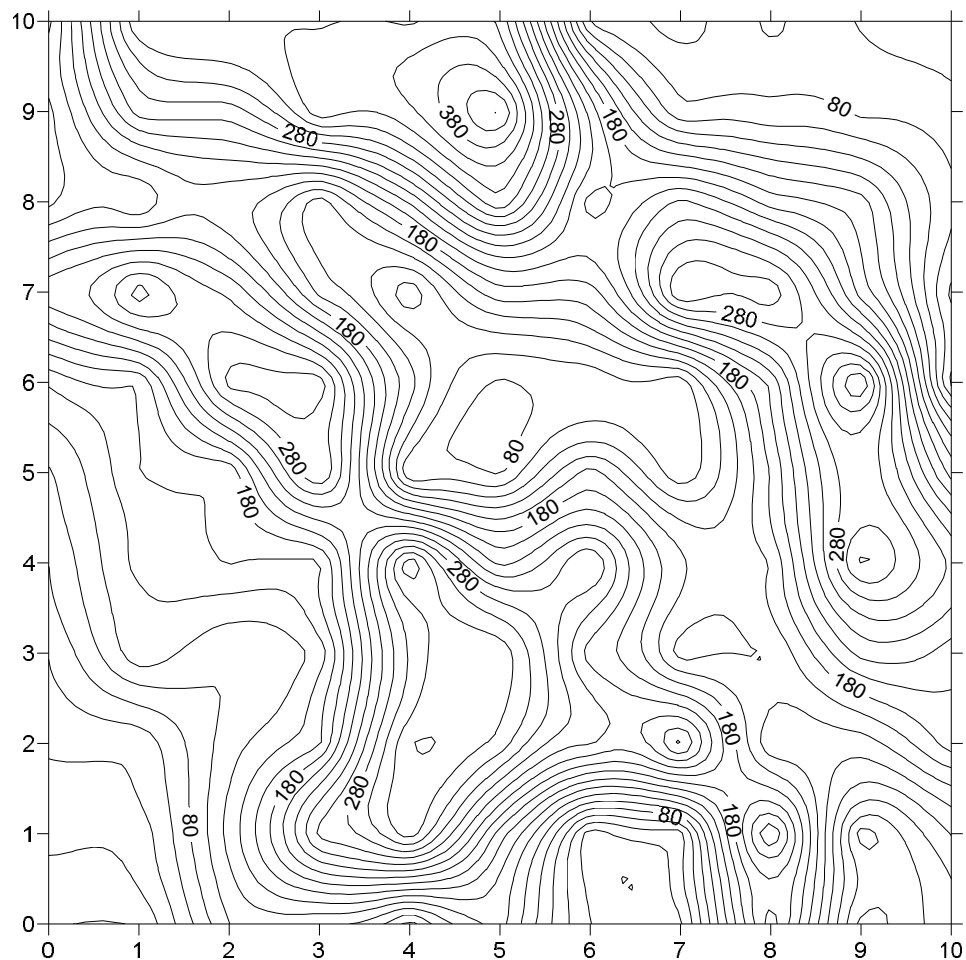
Berdasarkan data dari nilai permeabilitas di Kampus UNHAS Tamalanrea maka Kampus UNHAS Tamalanrea sangat diperlukan pembuatan sumur resapan dan penerapan teknologi biopori untuk melestarikan airtanah di Kampus UNHAS Tamalanrea. Daerah Kampus UNHAS Tamalanrea yang potensial dikembangkan sumur resapan adalah daerah yang nilai permeabilitasnya rendah dan sedang karena peresapan air ke dalam tanah sangat minim sehingga untuk meningkatkan resapan airnya diperlukan sumur resapan yang mencapai akifer. Sedangkan daerah yang permeabilitas 'agak baik' potensial dikembangkan sumur resapan biopori karena serapan air ke dalam tanah di anggap memadai sehingga dengan teknologi biopori resapan air ke dalam tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dimaksimalkan. Oleh karena itu, nilai permeabilitas yang rendah 0,15 sampai 1 Darcy (warna kuning) dan permeabilitas sedang 1 sampai 4 Darcy (warna merah) diinterpretasikan potensial untuk dikembangkan sebagai daerah sumur resapan yang dalam. Sedangkan permeabilitas yang tinggi 4 samapai 18 Darcy (warna hijau) potensial dikembangkan sebagai sumur resapan biopori yang dangkal. Daerah Kampus UNHAS Tamalanrea yang potensial dikembangkan sebagai daerah sumur resapan yang dalam dan daerah yang potensial dikembangkan sebagai sumur biopori yang dangkal dapat dilihat pada Gambar IV.13.



Gambar IV.13 Daerah yang potensial untuk dikembangkan sebagai sumur resapan yang dalam dengan nilai permeabilitas yang rendah dan sedang 0,15 – 4 Darcy (warna merah) dan daerah yang potensial dikembangkan sebagai sumur resapan biopori yang dangkal dengan nilai permeabilitas yang agak baik pada kisaran nilai permeabilitas 4 – 18 Darcy (warna hijau)

Arah aliran air permukaan di Kampus UNHAS Tamalanrea pada Gambar IV.2 hampir merata pada seluruh permukaan tanah sehingga pengaliran air ke dalam sumur resapan yang dalam mudah dilakukan dan pengaliran air ke dalam sumur resapan biopori dapat berlangsung secara alamiah. Pengaliran air ke dalam sumur resapan yang dalam akan lebih mudah lagi jika diambil dari air hujan yang jatuh di atas atap gedung-gedung di Kampus UNHAS Tamalanrea karena mudah dilakukan penampungan dan proses penjernihannya mudah dan murah dikerjakan sebelum diinjeksikan ke dalam sumur resapan yang dalam. Perlu dicatat bahwa air yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui sumur resapan yang dalam adalah air yang tidak tercemar sehingga air yang diimbuhkan tersebut perlu diproses lebih dahulu menjadi air bersih.

Pada persamaan (7) didapatkan hubungan antara kecepatan aliran fluida dengan konduktivitas hidrolik (K), konduktivitas elektrohidrolis (C) dan anomali potensial elektrokinetik dalam medium. Dengan memasukkan distribusinya nilai K dan distribusi nilai C dan anomali SP di wilayah permukaan kampus UNHAS ke dalam persamaan (7) maka diperoleh distribusi laju rata-rata perembesan air permukaan ke dalam media berpori di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar. Distribusi laju rata-rata dalam satuan cm/hari, perembesan air permukaan di kampus UNHAS Tamalanrea Makassar dapat dilihat pada Gambar IV.14. Bila distribusi laju rata-rata perembesan air Kampus UNHAS dirata-ratakan maka diperoleh laju rata-rata adalah 1,75 m/hari atau 624 meter/tahun. Sebagai contoh, bila kita membuat sumur sedalam 100 meter maka diperlukan 57,6 hari perembesan air permukaan sampai ke dasar sumur.



Gambar VI.14 Laju rata-rata (cm/hari) perembesan air permukaan media berpori di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar

V. PENUTUP

V.1. Kesimpulan

1. Hasil analisis terhadap anomali SP Kampus UNHAS Tamalanrea dapat diketahui distribusi kecepatan perembesan air tanah di kawasan Kampus UNHAS Tamalanrea sebagai konduktivitas hidrolis (K). Distribusi nilai K di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar berada pada kisaran nilai antara $10^{-5} - 10^{-2}$ cm/s. Nilai K di Kampus UNHAS Tamalanrea dengan interval nilai antara $10^{-5} - 10^{-2}$ cm/s berada pada konduktivitas yang baik dan konduktivitas yang buruk. Karena itu, Kampus UNHAS Tamalanrea lebih bersifat semipermeabel.
2. Permeabilitas Kampus UNHAS Tamalanrea dapat dibagi atas tiga macam kategori. Kategori pertama, permeabilitas antara 0,15 sampai 1 Darcy sebagai permeabilitas yang rendah. Kedua, permeabilitas antara 1 sampai 4 Darcy sebagai permeabilitas sedang. Ketiga, permeabilitas 4 sampai 18 Darcy sebagai permeabilitas yang tinggi. Permeabilitas rendah dan permeabilitas sedang potensial dikembangkan sebagai daerah sumur resapan (sumur imbuhan yang dalam). Sedangkan permeabilitas yang tinggi potensial dikembangkan sebagai sumur resapan biopori (sumur resapan yang dangkal).
3. Laju perembesan air dalam media berpori sebanding dengan konduktivitas hidrolis dan anomali SP dan berbanding terbalik dengan konduktivitas elektrohidrolis. Dari hubungan tersebut diperoleh laju rata-rata perembesan air permukaan di kampus UNHAS Tamalanrea Makassar adalah 1,75 m/hari atau 624 meter/tahun.

V.2. Rekomendasi Hasil Penelitian

Sebaran nilai permeabilitas $K(\text{Darcy})$ permukaan dan laju peresapan air hujan di Kampus UNHAS Tamalanrea menunjukkan bahwa tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea bersifat semipermeabel. Artinya bahwa, pengambilan air tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea sulit memulihkan secara alamiah melalui peresapan atau perembesan air hujan ke dalam tanah. Oleh karena itu, untuk menjaga kelestarian air tanah di Kampus UNHAS Tamalanrea maka perlu di tindak lanjuti hasil penelitian ini dengan membuat sumur-sumur imbuhan (injeksi) yang mencapai akifer dan sumur-sumur resapan biopori yang dangkal untuk memaksimalkan peresapan air ke dalam tanah. Dengan demikian peresapan air yang maksimal di Kampus UNHAS Tamalanrea pada musim hujan dapat melestarikan air tanah juga dapat menyediakan air yang cukup pada musim kemarau. Daerah yang mempunyai nilai permeabilitas yang rendah 0,15 sampai 1 Darcy dan permeabilitas sedang 1 sampai 4 Darcy sebagai daerah yang cocok sebagai sumur imbuhan yang dalam. Sedangkan daerah yang nilai permeabilitas yang 'agak baik' dari 4 sampai 18 Darcy cocok sebagai sumur resapan biopori yang dangkal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bogoslovsky, V.A., Ogilvy A.A., (1972): *The study of streaming potentials on fissured media models*. Geophys Prospecting 51: 109–117
- Bouwer, H., (1978): *Ground Water Hydrology*. New York:McGraw-Hill.
- Devasenathipathy, S., & Santiago J.G., (2003): *Electrokinetik Flow Diagnostics*, Springer Verlag, New York.Stanford University Department of Mechanical Engineering Stanford, CA
- Fagerlund, F. & Heinson G., (2003): *Detecting subsurface groundwater flow in fractured rock using selfpotential (SP) methods*. Environmental Geology 43(7), 782-794.
- Foth, H.D., (1984) : *Dasar-dasar Ilmu Tanah*, (Terjemahan), Gajah Mada Univ. Press, Yogyakarta, 781.
- Grandis, H., dan Yasser, T. (2004) : Simulasi Numerik dan Eksperimen Laboratorium Self-Potensial (SP) untuk pemantauan Sumur Injeksi: Studi Pendahuluan, *Prosiding HAGI ke-29*, Yogyakarta, 5-7 Oktober 2004.
- Kim, G. Heinson & Joseph J., (2004): *Electrokinetic groundwater exploration: a new geophysical technique*. School of Earth and Environment Sciences, University of Adelaide, SA, 5005, . *Regolith 2004*. CRC LEME, pp. 181-185.
- Kim, G. Heinson & Joseph J., (2005): *Laboratory Measurements of Electrokinetic Potential from Fluid Flow in Porous Media*. School of Earth and Environment Sciences, University of Adelaide, SA, 5005, . *Regolith 2005*. CRC LEME, pp. 176-178.
- Moore, J.R., John W., Sanders, John J. C., and Steven D. G., (2004): *Detecting Seepage Through a Natural Moraine Dam Using the Self-Potential Method* University of California, Berkeley Department of Civil and Environmental Engineering, 440 Davis Hall Berkeley, CA USA
- Notodarmojo, S., (2005) : *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*, Penerbit ITB Bandung, 279- 290.
- Nurhandoko, B.E.B, and Ahmad I.A., (2001): *Self-potential study for identifying fluid flow characteristics: physical model case*. Proceedings The 26th HAGI Annual Meeting October 1-3, 2001, Bidakara complex, Jakarta
- Ogilvy, AA, Ayed MA, Bogoslovsky V.A., (1969): *Geophysical studies of water leakage from reservoirs*. Geophys Prospect 22: 36–62
- Perrier, F. & Froidefond T., (2003): *Electrical conductivity and streaming potential coefficient in a moderately alkaline lava series*. Earth and Planetary Science Letters 210(1-2), 351-363.
- Semyonov, A.S., (1980): *Electric Prospecting by the Self-Potential Method*. Nedra.

- Syahrudin, M.H., (2010): Studi Penentuan Laju Perembesan Air Dalam Media Berpori Menggunakan Metoda *Self-potential* (SP) Daerah Resapan Air Kampus Unhas Tamalanrea Makassar, Laporan Penelitian DIPA UNHAS.
- Telford, W. and Sheriff, (1982): *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge
- Touloukian, Y.S., Judd, W.R., dan Roy, R.F., (1981) : *Physical Properties of Rock and Minerals*, McGraw-Hill Book Company.
- Vichabian Y. and Frank D.M., (2002): *Self potentials in cave detection*, Leading Edge, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, U.S.
- Wesley, D.L., (1977) : *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

LAMPIRAN A

Koordinat titik pengukuran dalam koordinat geografi, nilai topografi, dan nilai SP
di Kampus UNHAS Tamalanrea Makassar

**Koordinat (x,y,z) survei GPS Area Universitas Hasanuddin
Dalam Koordinat Latlone (WGS 84) & SP(mV/20 m)**

N0	x (longitude)	y (latitude)	z (elevasi) (meter)	SP
1	5°7'39,4291"	119°29'1,8118"	20	9,31
2	5°7'42,6317"	119°29'1,8406"	18	9,31
3	5°7'45,8630"	119°29'1,8697"	16	9,31
4	5°7'49,1041"	119°29'1,8985"	15	13,77
5	5°7'52,3261"	119°29'1,9180"	14	8,71
6	5°7'55,5478"	119°29'1,9468"	10	6,28
7	5°7'58,7791"	119°29'1,9662"	10	5,28
8	5°8'2,0011"	119°29'1,9954"	10	4,11
9	5°8'5,2228"	119°29'2,0242"	10	3,11
10	5°8'8,4444"	119°29'2,0530"	10	2,03
11	5°8'11,5991"	119°28'58,8475"	10	0,08
12	5°7'39,4003"	119°29'5,0561"	20	17
13	5°7'42,6233"	119°29'5,0946"	19	14,33
14	5°7'45,8440"	119°29'5,1238"	18	9,57
15	5°7'49,1329"	119°29'5,1432"	17	15,98
16	5°7'52,3067"	119°29'5,1720"	17	9,57
17	5°7'55,5287"	119°29'5,2008"	16	9,57
18	5°7'58,7694"	119°29'5,2300"	11	8,91
19	5°8'1,9914"	119°29'5,2588"	19	8,32
20	5°8'5,2130"	119°29'5,2879"	14	3,11
21	5°8'8,4444"	119°29'5,3167"	12	2,03
22	5°8'11,7913"	119°29'5,3264"	10	0,08
23	5°7'39,3812"	119°29'8,3101"	20	17
24	5°7'42,6126"	119°29'8,3393"	24	14,33
25	5°7'45,8249"	119°29'8,3681"	19	10,83
26	5°7'49,0948"	119°29'8,3972"	18	13,83
27	5°7'52,2876"	119°29'8,4260"	18	15,83

28	5°7'55,5092"	119°29'8,4552"	17	9,66
29	5°7'58,7600"	119°29'8,4743"	15	9,66
30	5°8'1,9720"	119°29'8,5034"	22	6,47
31	5°8'5,2033"	119°29'8,5322"	14	7,03
32	5°8'8,4350"	119°29'8,5517"	16	7,9
33	5°8'11,8010"	119°29'8,5805"	10	6,47
34	5°7'39,3715"	119°29'11,5642"	20	16,89
35	5°7'42,5838"	119°29'11,5836"	24	17,55
36	5°7'45,8054"	119°29'11,6124"	27	7,89
37	5°7'49,0465"	119°29'11,6416"	30	9,26
38	5°7'52,2779"	119°29'11,6606"	30	16
39	5°7'55,4999"	119°29'11,6898"	30	15,66
40	5°7'58,7406"	119°29'11,7186"	31	9,34
41	5°8'1,9626"	119°29'11,7380"	27	7,84
42	5°8'5,1745"	119°29'11,7668"	16	9,34
43	5°8'8,4253"	119°29'11,7863"	20	14,27
44	5°8'11,8201"	119°29'11,8154"	12	6,47
45	5°7'39,3427"	119°29'14,7991"	15	16,89
46	5°7'42,5838"	119°29'14,8182"	20	17,55
47	5°7'45,7957"	119°29'14,8474"	27	12,4
48	5°7'49,0465"	119°29'14,8859"	31	5,6
49	5°7'52,2588"	119°29'14,9053"	32	9,01
50	5°7'55,4804"	119°29'14,9244"	32	5,2
51	5°7'58,7215"	119°29'14,9536"	32	17,65
52	5°8'1,9529"	119°29'14,9824"	30	15,66
53	5°8'5,1745"	119°29'15,0115"	26	17
54	5°8'8,4059"	119°29'15,0403"	22	16,8
55	5°8'11,8298"	119°29'15,0598"	14	3,4
56	5°7'39,3233"	119°29'18,0434"	13	16,89
57	5°7'42,5550"	119°29'18,0722"	13	19,8
58	5°7'45,7864"	119°29'18,1014"	16	16,89
59	5°7'49,0177"	119°29'18,1205"	23	10,18
60	5°7'52,2394"	119°29'18,1496"	28	5,11
61	5°7'55,5863"	119°29'18,1594"	32	5

62	5°7'58,7118"	119°29'18,1979"	26	12
63	5°8'1,9432"	119°29'18,2364"	22	16,8
64	5°8'5,1652"	119°29'18,2558"	20	16
65	5°8'8,3965"	119°29'18,2846"	13	10
66	5°8'11,8489"	119°29'18,3138"	14	8
67	5°7'39,2495"	119°29'21,2878"	7	5
68	5°7'42,5453"	119°29'21,3169"	16	12,03
69	5°7'45,7669"	119°29'21,3457"	19	11
70	5°7'49,9889"	119°29'21,3745"	28	10,08
71	5°7'52,2203"	119°29'21,4037"	30	5,6
72	5°7'55,4419"	119°29'21,4325"	26	10
73	5°7'58,6927"	119°29'21,4519"	25	15
74	5°8'1,9241"	119°29'21,4811"	14	11,84
75	5°8'5,1457"	119°29'21,5099"	9	13,3
76	5°8'8,3677"	119°29'21,5387"	9	0,45
77	5°8'11,8586"	119°29'21,5581"	9	1,49
78	5°7'39,2851"	119°29'24,5515"	8	3,7
79	5°7'42,5262"	119°29'24,5612"	10	5,6
80	5°7'45,7576"	119°29'24,5998"	14	13,39
81	5°7'48,9889"	119°29'24,6289"	26	16,39
82	5°7'52,2106"	119°29'24,6577"	23	5,6
83	5°7'55,4326"	119°29'24,6772"	24	5,6
84	5°7'58,6830"	119°29'24,7060"	24	9,79
85	5°8'1,9144"	119°29'24,7351"	23	8,05
86	5°8'5,1360"	119°29'24,7639"	20	15,09
87	5°8'8,3580"	119°29'24,7834"	9	2,03
89	5°8'11,8777"	119°29'24,8122"	9	1,03
90	5°7'39,2754"	119°29'27,7768"	9	5,6
91	5°7'42,5165"	119°29'27,8056"	11	5,6
92	5°7'45,7381"	119°29'27,8441"	21	11
93	5°7'48,9792"	119°29'27,8635"	24	16
94	5°7'52,1915"	119°29'27,8923"	23	11,6
95	5°7'55,4131"	119°29'27,9118"	24	10,6
96	5°7'58,6639"	119°29'27,9406"	23	9,6

97	5°8'1,8953"	119°29'27,9697"	21	8,6
98	5°8'5,1266"	119°29'27,9892"	16	7,73
99	5°8'8,3483"	119°29'28,0180"	9	14,13
100	5°8'11,8777"	119°29'28,0471"	10	11,93
101	5°7'39,2466"	119°29'31,0308"	10	4
102	5°7'42,4877"	119°29'31,0596"	11	5
103	5°7'45,7284"	119°29'31,0790"	17	10
104	5°7'48,9504"	119°29'31,1078"	20	11
105	5°7'52,1720"	119°29'31,1370"	20	17,87
106	5°7'55,4034"	119°29'31,1658"	18	15,35
107	5°7'58,6445"	119°29'31,1950"	21	16,5
108	5°8'1,8856"	119°29'31,2238"	22	12,61
109	5°8'5,1072"	119°29'31,2526"	22	8
110	5°8'8,3580"	119°29'31,2720"	22	2,1
111	5°8'11,8972"	119°29'31,3105"	17	2,3
112	5°7'39,2272"	119°29'34,2654"	8	3,58
113	5°7'42,4682"	119°29'34,2942"	10	4,58
114	5°7'45,7093"	119°29'34,3234"	10	5,58
115	5°7'48,9407"	119°29'34,3428"	16	3,78
116	5°7'52,1530"	119°29'34,3813"	18	3,58
117	5°7'55,3843"	119°29'34,4004"	19	10,14
118	5°7'58,6348"	119°29'34,4296"	19	13,87
119	5°8'1,8758"	119°29'34,4584"	19	11,83
120	5°8'5,1072"	119°29'34,4778"	19	11
121	5°8'8,3386"	119°29'34,5070"	20	6,5
122	5°8'11,9357"	119°29'34,5646"	20	5,2

LAMPIRAN B

Hasil penelitian hibah bersaing tahun 2010 dan 2011 dipublikasikan dalam Prosiding dan Jurnal. Hasil penelitian tahun 2010 telah dipublikasikan di prosiding MICCE 2010 dan prosiding ICBS 2011. Sedangkan hasil penelitian pada tahun 2010 dan 2011 juga akan dipublikasikan dalam jurnal nasional dan internasional. Hasil penelitian tahun 2010 telah dikirim drafnya ke Jurnal Sumber Daya Air yang terakreditasi di Kantor Pusat Studi Air Bandung. Insya Allah pada tahun 2012 draf hasil penelitian pada tahun 2011 akan dikirim ke Jurnal Internasional. Rencananya draf akan dikirim ke “*Journal of Environmental and Engineering Geophysics (JEEG)*”.